



## Kernekraft og nuklear sikkerhed 2010

Lauritzen, Bent; Ølgaard, Poul L.; Kampmann, Dan; Nonbøl, Erik; Nystrup, Poul E.

*Publication date:*  
2011

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Lauritzen, B., Ølgaard, P. L., Kampmann, D., Nonbøl, E., & Nystrup, P. E. (2011). *Kernekraft og nuklear sikkerhed 2010*. Danmarks Tekniske Universitet, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi. Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R No. 1786(DA)

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Kernekraft og nuklear sikkerhed 2010

## Risø-R-Report

Redigeret af B. Lauritzen og P.L. Ølgaard  
Risø-R-1786(DA)  
Juli 2011



**Forfatter:** Bent Lauritzen og Povl.L. Ølgaard (red.), Dan Kampmann,  
Erik Nonbøl og Poul E. Nystrup  
**Titel:** Kernekraft og nuklear sikkerhed 2011  
**Afdeling:** Strålingsforskning

**Risø-R-1786(DA)**  
Juli 2011

**Resume (max. 2000 char.):**

Rapporten er den ottende rapport i en serie af årlige rapporter om kernekraft og nuklear sikkerhed. Rapporten er udarbejdet af medarbejdere ved Risø DTU og Beredskabsstyrelsen. Den omhandler den internationale udvikling inden for kernekraft med særlig vægt på sikkerhedsmæssige forhold og nukleart beredskab. Rapporten for 2010 dækker følgende emner: Status for kernekraftens el-produktion, regionale tendenser, reaktorudvikling, beredskabssystemer, sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft, Fukushima-ulykken samt internationale forhold og konflikter.

**ISSN 0106-2840**  
**ISSN 1604-4177**  
**ISSN 1603-9408**  
**ISBN 978-87-550-3919-3**

**Kontrakt nr.:**

**Gruppens reg. nr.:**  
PSP 10008-04

**Sponsorship:**

**Forside:**  
**Det ulykkes-ramte Fukushima**  
**Daiichi kernekraftværk i Japan**

**Sider: 45**  
**Tabeller: 2**

Afdelingen for Informationsservice  
Risø Nationallaboratoriet  
for Bæredygtig Energi  
Danmarks Tekniske Universitet  
Postboks 49  
4000 Roskilde  
Danmark  
Telefon 46774005  
[bibl@risoe.dtu.dk](mailto:bibl@risoe.dtu.dk)  
Fax 46774013  
[www.risoe.dtu.dk](http://www.risoe.dtu.dk)

# Indhold

## **Forord 4**

### **1 International kernekraftstatus 5**

- 1.1 Kernekraftens el-produktion 5
- 1.2 Regionale tendenser 9

### **2 Udvikling af reaktorer og sikkerhed 24**

- 2.1 Reaktorudviklingen 24

### **3 Nuklear sikkerhed 28**

- 3.1 Sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft 28
- 3.2 Fukushima ulykken 30
- 3.3 Internationale forhold og konflikter 35

## **APPENDIKS A: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg 37**

## **APPENDIKS B: Internationale organisationer 39**

## **APPENDIKS C: Anvendte forkortelser 42**

# Forord

”Kernekraft og nuklear sikkerhed 2010” er den ottende rapport i en serie af årlige rapporter om kernekraft og nuklear sikkerhed. Rapporten, der er udarbejdet i samarbejde mellem Risø DTU og Beredskabsstyrelsen, har til formål at informere myndigheder, medier og offentlighed om den internationale udvikling inden for kernekraft med særlig vægt på sikkerhedsmæssige forhold og nukleart beredskab.

Rapporten for 2010 dækker følgende emner: Status for kernekraftens el-produktion, regionale tendenser, reaktorudvikling, beredskabssystemer, sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft, Fukushima-ulykken samt internationale forhold og konflikter.

Følgende medarbejdere fra Risø DTU og Beredskabsstyrelsen (BRS) har bidraget til denne rapport:

Dan Kampmann	BRS	(1.2 og 3.1)
Bent Lauritzen	Risø DTU	(1.1 og 1.2)
Erik Nonbøl	Risø DTU	(1.1, 2.1 og 3.2)
Poul E. Nystrup	BRS	(1.2)
Povl L. Ølgaard (konsulent)	Risø DTU	(1.2, 3.2 og 3.3)

# 1 International kernekraftstatus

## 1.1 Kernekraftens el-produktion

I alt 31 lande har kernekraft, og anvendelsen af kernekraft er især udbredt i den industrialiserede del af verden. I Nordamerika er der 124, i Europa 196 og i Sydøstasien 115 kernekraftenheder i drift, mens der kun findes enkelte kernekraftværker uden for disse regioner. Pr. 1. januar 2011 var der i alt 441 kernekraftenheder i drift med en samlet installeret effekt på 374 GWe.

Kernekraft anvendes hovedsageligt som grundlast ved elproduktion, men benyttes også i mindre udstrækning til regulerbar drift. Derudover anvendes kernekraft til kraft-varmeproduktion på enkelte værker. Mens den installerede kernekrafteffekt i EU-landene kun udgør ca. 15 % af den samlede effekt, leverer kernekraften ca. en tredjedel af elproduktionen i EU.

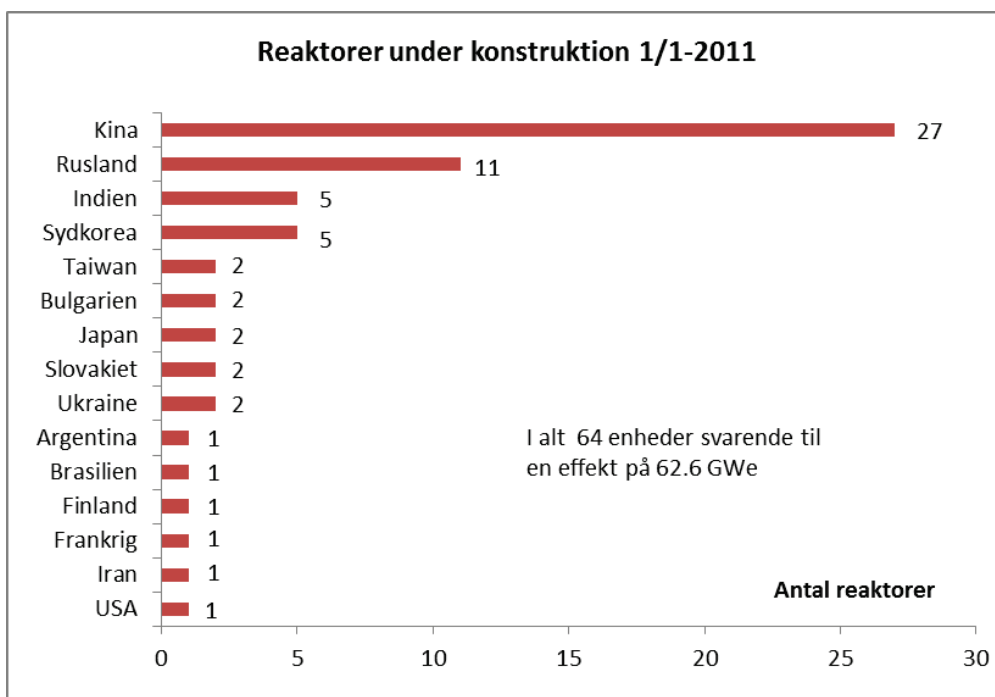
Elproduktionen fra kernekraft faldt globalt fra 2008 til 2009 med 1,5 % til 2558 TWh, og kernekraft udgjorde i 2009 13,5 % af den samlede elproduktion. Udviklingen med en faldende tendens er dermed fortsat siden 2006, hvor elproduktionen fra kernekraft toppede. Den formindskede elproduktion i 2009 skyldes især nedgang i produktionen i Vesteuropa, specielt i Frankrig, Tyskland og Sverige, hvor der har været omfattende driftsstop pga. vedligeholdelsesarbejder og opgraderinger, mens elproduktionen fra kernekraftværker i 2009 blev øget i England og Japan.

Mere end 40 lande enten bygger kernekraftværker eller har planer om at bygge nye enheder. Den globale udbygning af kernekraft finder især sted i Kina og i det øvrige Asien, mens der endnu kun bygges enkelte værker i resten af verden (Figur 1.1). Af de i alt 64 enheder, der er under opførelse, bliver 27 opført i Kina, hvor målsætningen for kernekraft er at udbygge kapaciteten fra de nuværende 10 GWe til 70-80 GWe i 2020 og ca. 200 GWe i 2030.

I 2010 blev en enkelt enhed, den franske hurtigreaktor Phenix, lukket ned (130 MWe), mens fem nye enheder blev sat i drift: Rostov-2 i Rusland (PWR, 950 MWe), Rajasthan-6 i Indien (PHWR, 202 MWe), Lingao-3 og Qinshan 2-3 i Kina (PWR, 1000 MWe og 610 MWe), samt Shin Kori-1 enheden i Sydkorea (PWR, 960 MWe). Byggeriet af 16 nye enheder blev påbegyndt: Ningde-3 (1000 MWe PWR), Taishan-2 (1700 MWe EPR), Changjiang-1 (610 MWe PWR), Haiyang-2 (1000 MWe AP-1000), Ningde-4 (1000 MWe PWR), Yangjiang-3 (1000 MWe PWR), Changjiang-2 (610 MWe PWR), Fangchenggang-1 og -2 (2x1000 MWe PWR) samt Fuqing-3 (1000 MWe PWR) i Kina, Kakrapar-3 og -4, hver på 630 MWe PHWR, i Indien, Leningrad 2-2 (1085 MWe, PWR) og Rostov-4 (1011 MWe, PWR) i Rusland, Ohma (1325 MWe, ABWR) i Japan samt Angra-3 enheden (1245 MWe, PWR) i Brasilien.

Ulykken på Fukushimaværket i Japan den 11. marts 2011 har betydet en revurdering af sikkerheden ved kernekraft generelt, og specielt for letvandsreaktorer, som udgør langt hovedparten af verdens kernekraftreaktorer. Sikkerhedsanalyserne omfatter såvel eksisterende enheder samt de enheder, der er planlagt eller er under opførelse. I Europa har EU Kommissionen vedtaget at gennemføre en omfattende "stress-test" analyse af de eksisterende værker, som bl.a. skal belyse mulighederne for at etablere nødkøling i tilfælde af svigt af ekstern strømforsyning og ekstern køling, f.eks. forårsaget af jordskælv og/eller oversvømmelse. I Tyskland har regeringen som konsekvens af ulykken besluttet, at kernekraft skal udfases hurtigere end oprindeligt planlagt, og Schweiz har indført et moratorium på byggeri af nye kernekraftenheder. Omvendt ventes flere EU-lande, bl.a. Frankrig, England, Finland og de østeuropæiske lande, at fortsætte udbygningsplanerne for kernekraft. Kina har

gennemført et midlertidigt moratorium på udbygningen af kernekraft indtil årsagerne til Fukushimaulykken er analyseret, men ventes på langt sigt ikke at ændre politik på energiområdet som følge af ulykken.



Figur 1.1. Kernekraftenheder under opførelse.

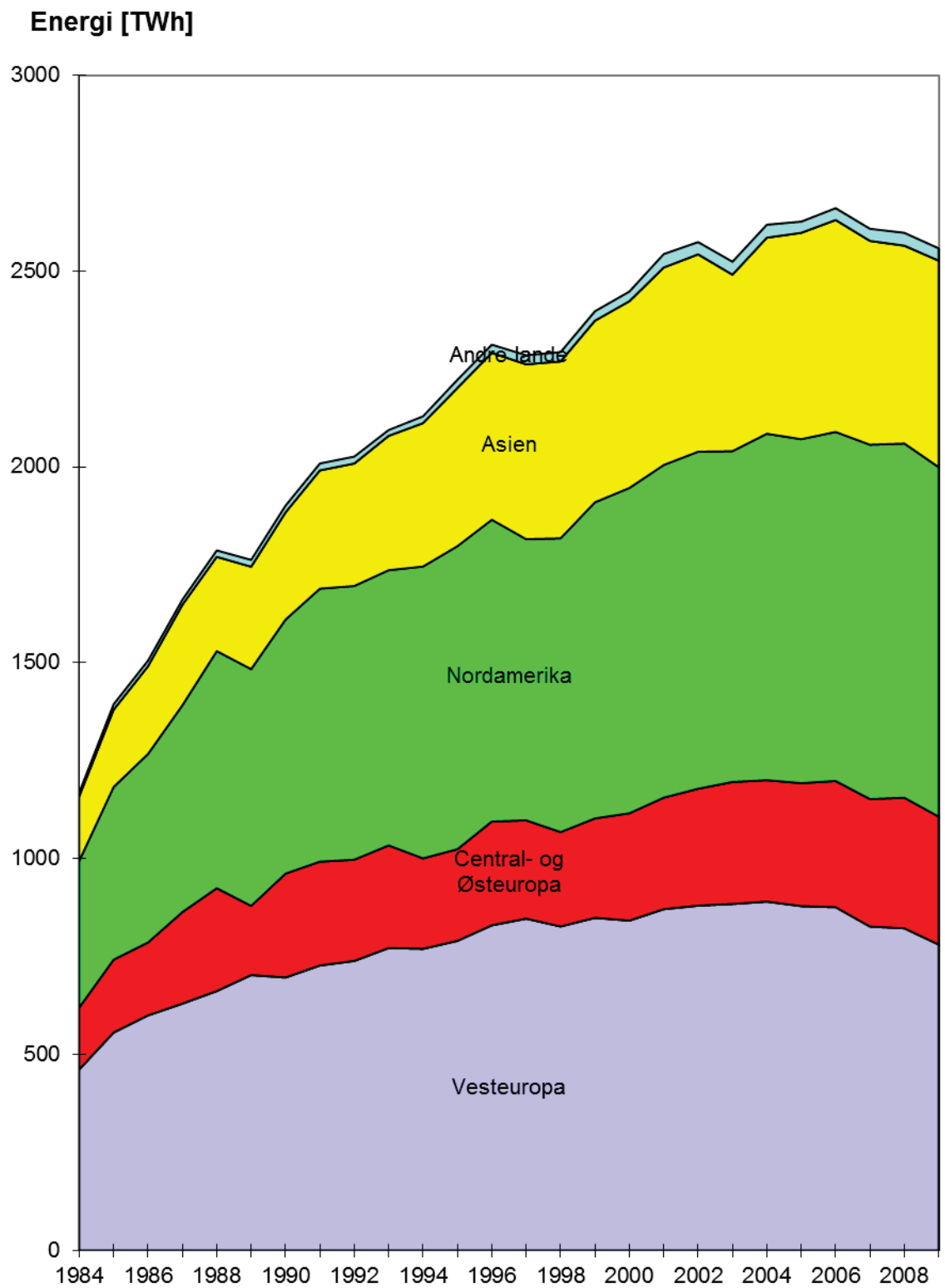
Tabel 1.1. Antal kernekraftenheder, installeret effekt og produceret elektrisk energi samt kernekraftens andel af el-produktionen i forskellige regioner i verden.

	Antal enheder (1/1-2011)	Installeret effekt (GWe) (1/1-2011)	Produceret energi 2009 (TWh)	Andel af el- produktion 2009 (%)
Vesteuropa	129	122,4	780,8	27,4
Central- og Østeuropa	67	47,3	326,6	18,4
Nordamerika	124	114,6	892,1	18,4
Asien	115	84,9	527,2	7,9
Andre lande	6	4,5	31,4	-
<b>Globalt</b>	<b>441</b>	<b>373,7</b>	<b>2558,1</b>	<b>13,5</b>

*Tabel 1.2. Antal kernekraftenheder, installeret effekt og produceret elektrisk energi samt kernekraftens andel af el-produktionen i de enkelte lande.*

	Antal enheder (1/1-2011)	Installeret effekt (GWe) (1/1-2011)	Produceret energi 2009 (TWh)	Andel af el- produktion 2009 (%)
<b>Vesteuropa</b>				
Belgien	7 PWR	5,8	45,0	51,7
Finland	2 BWR, 2 VVER	2,7	22,6	32,9
Frankrig	58 PWR	63,2	391,8	75,2
Holland	1 BWR	0,5	4,0	3,7
Schweiz	2 BWR, 3 PWR	3,2	26,3	39,5
Spanien	2 BWR, 6 PWR	7,5	50,6	17,5
Storbritannien	1 PWR, 4 GCR, 14 AGR	10,1	62,9	17,9
Sverige	7 BWR, 3 PWR	9,0	50,0	37,4
Tyskland	6 BWR, 11 PWR	20,4	127,7	26,1
<b>Central- og Østeuropa</b>				
Armenien	1 VVER	0,4	2,3	45,0
Bulgarien	2 VVER	1,9	14,2	35,9
Litauen	-	-	10,0	76,2
Rumænien	2 PHWR	1,3	10,8	20,6
Rusland	15 RBMK, 16 VVER, 1 FBR	22,7	152,8	17,8
Slovakiet	4 VVER	1,7	13,1	53,5
Slovenien	1 PWR	0,7	5,5	37,8
Tjekkiet	6 VVER	3,6	25,7	33,8
Ukraine	15 VVER	13,1	78,0	48,6
Ungarn	4 VVER	1,9	14,3	43,0
<b>Nordamerika</b>				
Canada	18 PHWR	12,6	85,1	14,8
Mexico	2 BWR	1,3	10,1	4,0
USA	69 PWR, 35 BWR	100,7	796,9	19,7
<b>Asien</b>				
Indien	2 BWR, 17 PHWR	4,2	14,8	2,2
Japan	24 PWR, 30 BWR	46,8	263,1	28,9
Kina	11 PWR, 2 PHWR	10,0	65,7	1,9
Pakistan	1 PWR, 1 PHWR	0,4	2,6	2,7
Sydkorea	17 PWR, 4 PHWR	18,2	141,1	34,8
Taiwan	6 PWR	4,9	39,9	20,7
<b>Andre lande</b>				
Argentina	2 PHWR	0,9	7,6	7,0
Brasilien	2 PWR	1,8	12,2	2,9
Sydafrika	2 PWR	1,8	11,6	4,8





*Figur 1.2. Den globale udvikling i den samlede elproduktion fra kernekraft.*

## 1.2 Regionale tendenser

### Vesteuropa

Det er karakteristisk for udviklingen i Vesteuropa, at områdets el-selskaber spreder deres investeringer til stadig flere lande, således at der sker en internationalisering af selskaberne. Det gælder f.eks. det franske EdF, de tyske E.On og RWE samt det svenske Vattenfall.

#### *Belgien*

Belgien er et af de lande, der har besluttet at afvikle kernekraften, idet landets kernekraftenheder skal lukkes efter en levetid på 40 år. Alligevel har regeringen tilladt at levetiden på de tre ældste enheder øges til 50 år mod, at elværkerne til gengæld pålægges en afgift på 250 mio. euro. Aftalen skal godkendes af det belgiske parlament, hvilket endnu ikke er sket p.g.a. landets specielle politiske situation.

#### *Finland*

I Finland er den første 1600 MWe EPR-enhed, Olkiluoto-3, under opførelse. Enheden, der leveres af det franske reaktorfirma Areva, er stærkt forsinket. Den skulle have været færdig i 2009, men vil først komme i drift i 2013. Opførelsen af enhedens bygninger er afsluttet og tryktanken, der vejer 450 tons, er installeret. Det samme gælder installationen af dampgeneratorer og trykholderen. Årsagen til den meget betydelige forsinkelse er dels, at det er den første EPR-enhed, der opføres, og med en førsteopførelse følger altid en række uventede ”børnesygdomme”, dels at en række af underleverandørerne ikke har forstået de særlige krav, der stilles ved bygning af kernekraftværker.

Tre finske el-selskaber, Teollisuuden Voima Oy (TVO), Fennovoima og Fortum har ansøgt om tilladelse til opførelse af hver sin nye kernekraftenhed. Den finske regering valgte at give TVO og Fennovoima tilladelse til opførelse af hver sin kernekraftenhed, og denne beslutning blev senere stadfæstet af det finske parlament. TVO vil opføre sin nye enhed ved Olkiluoto-værket, Olkiluoto-4. Fennovoima vil bygge sin nye enhed i Nordfinland ved Simo eller Pyhäjoki. Parlamentet har også godkendt, at firmaet Posiva Oy bygger et deponi for udbrændt brændsel ved Eurajoki. Fortum, der ikke fik sin ansøgning godkendt, vil afvente den politiske udvikling, før en ny ansøgning indsendes; eventuelt vil Fortum investere i ny kapacitet i udlandet, f.eks. i Sverige, hvor Fortum ejer andele i Oskarshamn og Forsmark.

#### *Frankrig*

Frankrig er det førende land i Europa på kernekraftområdet. Dels har det statslige el-selskab EdF 58 kernekraftenheder i drift, dels er Areva det eneste vesteuropæiske firma, der kan levere kernekraftenheder.

Areva's hovedprodukt er EPR, European Pressurized Reactor, med en effekt på 1650-1700 MWe. Denne enhed er under opførelse i Finland og i Frankrig. I begge tilfælde er projekterne blevet stærkt forsinket, i Finland med 3,5 år, i Frankrig med 2 år. Areva har også to EPR-enheder under opførelse i Kina og har indgået kontrakt om levering af to EPR-enheder til Indien. Det var en betydelig skuffelse, at Areva ikke fik kontrakten om levering af fire EPR-enheder til de Forenede Arabiske Emirater. Dette medførte kritik af EPR som for kompliceret, for sikker, for stor og derfor for dyr.

Areva udvikler sammen med det japanske firma Mitsubishi Heavy Industries en 1100 MWe trykvandsreaktor-enhed, Atmea-1. Endvidere udvikler Areva sammen med el-selskabet E.On en 1250 MWe kogendevandsreaktor Kerena. CEA udvikler sammen med Areva en natrium kølet hurtigreaktor, Astrid, med en effekt på 600

MWe. I projektet indgår også udvikling af et anlæg til fremstilling af MOX-brændsel og et oparbejdningsanlæg for det brugte Astrid-brændsel.

EdF er ligesom Areva involveret i levering af EPR-enheder til udlandet, idet det er Areva, der står for designet og levering af komponenterne, mens EdF står for selve byggearbejdet. Dette har skabt uenighed om, hvem af de to firmaer, der er den hovedansvarlige for projekterne.

EdF har problemer med dampgeneratorerne ved næsten alle selskabets enheder. Det medfører, at dampgeneratorerne må udskiftes, hvilket dels koster penge, dels mindsker enhedernes rådighedsfaktor. EdF forbereder levetidsforlængelse af selskabets kernekraftenheder. Oprindeligt er den sat til 30 år med mulighed af forlængelser på 10 år ad gangen. EdF sigter mod at komme op på en levetid på 60 år.

Det nye, franske centrifugeberigningsanlæg, George Besse II, vil i begyndelsen af 2011 begynde at få indført UF<sub>6</sub>. Anlægget vil være i fuld drift i 2016.

### ***Holland***

I Holland er der planer om at opføre en ny kernekraftenhed ved siden af landets eneste kernekraftenhed, Borssele, som har en effekt på 515 MWe.

### ***Italien***

Efter en folkeafstemning for og imod kernekraft, som kernekraftmodstanderne med støtte fra regeringen vandt, lukkedes i 1990 landets to kernekraftenheder. Den nuværende italienske regering går ind for kernekraft, og søger gennem lovgivning at fremme indførelsen af kernekraft. Der har været modstand mod kernekraft hos regionale myndigheder, som ved et sagsanlæg mod regeringen ved den italienske forfatningsdomstol søgte at få den nye kerneenergiloj kendt ugyldig, men forfatningsdomstolen støttede regeringens ret til at bestemme over kerneenergiområdet.

Det store italienske el-selskab, Enel, har sammen med det franske EdF, dannet et selskab, Sviluppo Nucleare Italia (SNI), som planlægger at bygge mindst fire EPR-enheder og der planlægges med, at Italien omkring 2020-25 skal have 13.000 MWe kernekraft. Enel ønsker dog garanti for, at en senere regering ikke standser byggeri og drift af nye kernekraftenheder.

Det statslige dekommissioneringsselskab, Sogin, som ejer grundene for de nedlukkede kernekraftenheder, vil ikke sælge disse, men gerne deltage i projekter om nye kernekraftenheder. SNI mener ikke, at de gamle pladser vil være af interesse for nye enheder, og prøver i stedet på at finde tre nye pladser i Italien. Det er etableret et Nuclear Safety Agency, som skal godkende pladser for nye kernekraftenheder.

Det italienske industrifirma Ansaldo planlægger at samarbejde med Areva om EPR og med Westinghouse om AP1000. Ansaldo har som det eneste italienske firma været involveret som underleverandør af komponenter til kernekraftværker, og den italienske regering ønsker italiensk industri inddraget mest muligt i opførelsen af nye kernekraftenheder.

### ***Schweiz***

De schweiziske sikkerhedsmyndigheder har godkendt tre pladser til mulige, nye kernekraftenheder, en ved Beznau, en ved Mühleberg og en ved Niederramt. Ved Beznau planlægges en ny enhed på 1600 MWe, og det samme gælder for en ny enhed ved Mühleberg. De nye enheder skal erstatte eksisterende enheder, der nærmer sig afslutningen på deres levetid. En endelig beslutning ventes medio 2012 og den første nye enhed ventes i drift i 2020-22.

## ***Spanien***

Den socialistiske regering er ved de to sidste valg gået ind for at lukke landets kernekraftenheder. Alligevel har regeringen udarbejdet et lovforslag, der tillader, forudsat sikkerhedsmyndighedernes accept, at landets kernekraftenheder fortsætter driften ud over de 40 år, som hidtil har været grænsen. Der er ingen af de spanske kernekraftenheder, der vil nå 40 års levetid i indeværende årti.

## ***Sverige***

De svenske kernekraftenheder har ikke kørt optimalt i 2010. Grunden hertil er, at gennemførelsen af modernisering og opgradering af enhederne har taget længere tid end planlagt. F.eks. var opgraderingen af Forsmark-2 planlagt til at tage 46 dage, men den tog 106 dage. Dette har medført en stigning i elprisen. Regeringen godkendte i 2010, at effekten på de tre Forsmarkenheder øges med i alt 410 MWe. Forhøjelsen ventes klar i 2014.

I 1980 vedtog et flertal i Sverige ved en folkeafstemning, at svensk kernekraft skulle afvikles, hvorefter Rigsdagen vedtog, at afviklingen skulle være tilendebragt i 2010. Men i 1997 vedtog Rigsdagen, at kernekraften ikke skulle afvikles, før der var acceptable alternativer. I juni 2010 vedtog den svenske rigsdag at ophæve forbudet mod bygning af nye kernekraftenheder. Bygning af nye enheder forudsætter dog, at de afløser ældre enheder, således at antallet af kernekraftenheder ikke øges, men der er ingen grænse for enhedernes effekt. Endvidere skal de nye enheder opføres på de tre pladser, hvor der i dag findes kernekraftværker. Oppositionen meddelte dog, at den, hvis den kom til magten efter efterårets valg - hvad den ikke gjorde - ville genindføre forbudet. OKG overvejer en ny enhed ved Oskarshamn, mens Vattenfall overvejer at bygge to nye enheder ved Ringhals.

## ***Tyskland***

Det store spørgsmål inden for tysk kernekraft var i 2010 spørgsmålet om levetidsforlængelse af de tyske kernekraftenheder. Den tyske Forbundsrag afgjorde sagen i november 2010, hvor den vedtog, at enheder, der kom i drift før 1980 får en ekstra levetid på 8 år, mens enheder, der er kommet i drift senere, får en levetidsforlængelse på 14 år. Til gengæld skal de el-selskaber, der har kernekraftenheder i Tyskland, RWE, EnBW, E.ON, og Vattenfall, betale en skat på nukleart brændsel på godt 2 mia. euro pr. år. El-selskaberne har som modtræk mod denne skat truet med at lukke kernekraftenheder. Endvidere skal de i perioden 2011-2016 betale 200-300 mio. euro pr. år til en fond til udvikling af vedvarende energi. Der var usikkerhed med hensyn til, om levetidsforlængelserne også skulle godkendes af Forbundsrådet, hvor oppositionen har flertal, men Forbundsrådet fandt, at det ikke skulle behandle levetidsforlængelserne.

Efterfølgende har den tyske regering i 2011 under indflydelse af Fukushima-ulykken besluttet at afvikle kernekraften, så levetidsforlængelserne annulleres, og de sidste værker i Tyskland lukkes ned i 2022.

I deponiet for lav- og mellemaktivt affald i den tidligere saltmine ved Asse, som blev benyttet fra 1967 til 1978, er der trængt vand ind i deponiet. Man undersøger nu mulighederne for at tage affaldet, der er pakket i tønder, op igen.

Tysklands 17 kernekraftenheder har opnået gode driftsresultater. Af verdens 10 kernekraftenheder med de bedste driftsresultater var i 2009 seks tyske.

## ***Storbritannien***

Den britiske regering har trukket sig ud af landets kernekraftproduktion, idet den har solgt sin andel i British Energy til EDF Energy, som dermed har overtaget de idriftværende britiske kernekraftenheder. Der er i dag tre el-selskaber i Storbritannien med interesse i kernekraft: EDF Energy (som driver de nuværende britiske kernekraftenheder, og som ejes af EDF), Horizon Nuclear Power (som ejes af

RWE og E.On) samt en sammenslutning af GDF Suez, Iberdrola og Scottish & Southern Energy. EDF Energy har rådighed over fem pladser til opførelse af nye kernekraftenheder, Hinkley Point, Sizewell, Heysham, Hartlepool og Bradwell. Horizon Nuclear Power råder over fire pladser, Wylfa, Oldbury, Braystones og Kirksanton, mens GDF Suez og partnere råder over en plads ved Sellafield.

EDF Energy planlægger at bygge fire EPR-enheder i Storbritannien, den første ved Hinkley Point (i drift i 2018). Horizon Nuclear Power planlægger at opføre enten seks AP1000- eller fire EPR-enheder i Storbritannien, den første ved Wylfa (i drift i 2020) og den næste ved Oldbury. Horizon planlægger at have 6000 MWe kernekraft i drift i 2025. Kun en af de nuværende britiske kernekraftenheder vil være i drift i 2023, med mindre de levetidsforlænges.

De britiske sikkerhedsmyndigheder, Nuclear Installation Inspectorate og Environment Agency, er i gang med at undersøge, om de kan godkende EPR- og AP100-enheden til bygning i Storbritannien.

Den nye britiske regering, som er dannet af de konservative og de liberale, støtter opførelse af nye kernekraftenheder, men el-selskaberne må selv stå for finansieringen af opførelsen af disse. Regeringen godkendte i oktober 2010 otte pladser til bygning af nye kernekraftenheder: Bradwell, Hartlepool, Heysham, Hinkley Point Oldbury, Sellafield, Sizewell og Wylfa. Braystones og Kirksanton, som Horizon Nuclear Power har rådighed over, blev ikke godkendt, men Horizon vil søge at få ændret denne beslutning.

I Storbritannien er der et større arbejde i gang med dekommissionering af de ældste britiske kernekraftenheder, de såkaldte magnoxreaktorer. Arbejdet forestås af Nuclear Decommissioning Authority (NDA).

Det britiske oparbejdningsanlæg for uranoxid-brændsel blev startet i 1994 og planlagt nedlukket i 2016. Anlægget var bygget til at kunne behandle 900 tons brændsel pr. år, men det har knebet med at realisere denne kapacitet. Hidtil største mængde på 879 tons blev opnået i 1999/2000, og anlægget var lukket ned i to år (2005-2007) på grund af en lækage. For at opfylde indgåede oparbejdningskontrakter planlægges det at forlænge anlæggets levetid til 2020.

## **Central- og Østeuropa**

Kravene til reduktion af udledningen af drivhusgasser og krav om øget forsyningssikkerhed er vigtige elementer i energipolitikken i de central- og østeuropæiske lande, hvor ønsket om en reduceret afhængighed af russisk olie og naturgas samt stabilisering af energipriser spiller en vigtig rolle. Disse mål søges opnået bl.a. gennem udbygning af vedvarende energi og kernekraft. Mere eller mindre konkrete planer om bygning af nye kernekraftværker foreligger såvel i regionens kernekraftlande som i de lande i regionen, der ikke har kernekraft, f.eks. Albanien, Hviderusland, Polen, Estland og Letland.

Generelt er det besluttet at bygge mange nye kernekraftenheder i Central- og Østeuropa, men mange af landene har problemer med at skaffe finansiering, bl.a. på grund af finanskrisen. Alligevel har landene gennemført de nødvendige miljøundersøgelser og andre nødvendige myndighedsbehandlinger. Udbud og prækvalifikation af leverandører fortsætter også med relativt små forsinkelser. Mange projekter vil derfor kunne påbegyndes med kort varsel, hvis finansieringen skulle falde på plads. Den økonomiske situation har dog også reduceret behovet for nye kraftværksenheder.

Rusland har i den sammenhæng en særstatus og fortsætter tilsyneladende sin egen udbygning, finansieret med nationale midler efter en lidt reduceret plan, vedtaget juli 2009. Rusland er også meget aktiv på eksportmarkedet med flere anlæg under

opførelse. Specielt i Bulgarien har Rusland tilbudt at stå for det meste af finansieringen af Belene-værket, efter at RWE er sprunget fra sit tilsagn om at stå for 51 % af finansieringen. Rusland satser på at få flere ordrer ved også at finansiere værker i andre lande.

Med lukningen af den sidste enhed på Ignalina kernekraftværket nytårsaften 2009 er alle de RBMK-enheder, der i vesten bedømmes som usikre, nu lukket i Central- og Østeuropa, bortset fra Rusland. Her er der stadig 11 RBMK-1000 fordelt på værkerne Kursk, Leningrad og Smolensk i drift. Endvidere er der 4 små EGP-6 reaktorer (i princippet RBMK-enheder) på hver 11 MW i drift på Bilibino værket i Sibirien.

I Vesteuropa er der ikke sat nye reaktorer i drift inden for de sidste ti år. Anderledes forholder det sig i Østeuropa, hvor der er idriftsat to reaktorer i Tjekkiet, en reaktor i Rumænien, en reaktor i Slovakiet, to reaktorer i Ukraine samt to reaktorer i Rusland inden for de sidste ti år.

Som en følge af ulykken i Fukushima besluttede EU Kommissionen i slutningen af marts 2011, at der på baggrund af muligheden for, at ekstreme hændelser kan føre til multiple udfald af sikkerhedssystemer, skal gennemføres sikkerhedsanalyser på samtlige reaktorer i EU. Indholdet i sikkerhedsanalyserne, der skal se bort fra sandsynlighedsbaserede analyser, er beskrevet i de såkaldte "stress test" specifikationer. Ulykken i Fukushima og de opfølgende EU stress tests kan få indvirkning på kernekraftsituationen i hele Europa.

### ***Albanien***

Den albanske elforsyning er meget afhængig af vandkraft og dermed af nedbørsmængden. Regeringen foreslog i november 2008 at bygge et kernekraftværk ved Durres, som skal sikre landets elforsyning og samtidig muliggøre eksport af elektricitet til nabolandene.

Albanien har i 2010 oprettet Albaniens Nationale Nukleare Agentur (ANNA), som er landets nukleare tilsynsmyndighed, samt ratificeret tillægsprotokollen til ikke-spredningstraktaten (NPT).

### ***Armenien***

Armeniens eneste kernekraftenhed, Metsamor-2, er forsynet med en VVER-440/230 reaktor, som ikke opfylder vestlige sikkerhedskrav. Regeringen har i princippet godkendt, at enheden lukkes. Dette vil dog først ske, når en moderne 1000 MWe kernekraftenhed til erstatning af Metsamor-2 står klar.

Regeringen godkendte i august 2010 en aftale med Rusland om at bygge en VVER-1000 V-392 kernekraftenhed på 1060 MWe. Den skal bygges af et selskab, Metzamorenenergoatom, med lige deltagelse af Armenien og det russiske firma Atomstroyexport. Enheden er planlagt idriftsat i 2018. 40 % af anlægsudgifterne finansieres af de to selskaber, mens resten forudsættes dækket ved ekstern finansiering.

### ***Bulgarien***

I 1986 begyndte det bulgarske statslige el-selskab NEK at opføre et kernekraftværk ved Belene. Byggeriet blev indstillet i 1991 efter Tjernobyl-ulykken og de politiske omvæltninger i Østeuropa, men genstartet i 2006, og NEK skrev kontrakt med Atomstroyexport om levering af to VVER-1000 enheder, hver på 1060 MWe.

Efter regeringsskiftet i 2009 er projektet mere eller mindre gået i stå. Der er i 2010 indgået en rammeaftale mellem NEK og det russiske firma Rosatom, men det har ikke skabt klarhed om projektets fremtid. Den bulgarske regering står stejlt på et krav om, at slutprisen ikke må overskride 6,3 mia. euro, og helst skal være mindre end 5 mia. euro. Rusland har tilbudt et lån på yderligere 2 mia. euro, så byggeriet

kan fortsætte uden forsinkelser, men dette er ikke accepteret af Bulgarien. En egentlig konstruktionslicens var forventet medio 2010. Der er dog stadig ikke en endelig afklaring på projektets finansiering.

I løbet af 2010 er der opstået interesse for i stedet for Belene-værket at udbygge Kozloduy-værket med to nye kernekraftenheder, men projektet er uafklaret.

Dekommissioneringen af Kozloduy-1 til -4 skrider planmæssigt frem med støtte fra EU og Kozloduy Internationale Dekommissioneringsfond. Der er etableret mellemlagre til opbevaring af det brugte brændsel og anlæg til håndtering af det radioaktive affald, både fra værkets drift og fra dekommissioneringen. Kozloduy-1 og -2 har nu officielt fået status som reaktorer under dekommissionering, mens Kozloduy-3 og -4 først får denne status om et par år.

### ***Estland***

I 2009 vedtog regeringen en ny energipolitik, der indebærer oprettelse af en nuklear tilsynsmyndighed i senest 2012, og som forudsætter bygning af et kernekraftanlæg på op til 1000 MWe før 2025.

Elselskabet EestiEnergia har i 2010 gennemført en pladsundersøgelse af øen Suur-Pakri 50 km fra Tallin. Stedet blev fundet egnet til opførelse af f.eks. to 335 MWe IRIS-kernekraftenheder fra Westinghouse. Fjernvarmeforsyning af Tallin-området vil være en mulighed med denne placering.

### ***Hviderusland***

Hviderusland planlægger at bygge landets første kernekraftværk nær grænsen til Litauen. Værket vil formentlig bestå af to russiske AES-2006 enheder, hver på 1200 MWe. Formålet med værket er at mindske landets store afhængighed af russisk naturgas, men finansieringen af byggeriet kan blive et stort problem.

VVM-processen er afsluttet, men især Litauen er utilfreds med forløbet. Blandt andet blev forberedelserne af byggepladsen igangsat allerede i 2009 før starten af VVM-processen. Der er opnået tilsagn om et russisk lån på 9 mia. dollar, og en rammeaftale forventes indgået i første kvartal af 2011, selvom detaljerne omkring økonomien ikke er afklaret. Første enhed er planlagt i drift i 2016 og den anden i 2018.

Den nukleare tilsynsmyndighed har i november 2010 bedt det selskab, der bygger værket, udfærdige sikkerhedsanalyser for de påtænkte enheder. Denne del af sagsbehandlingen ventes at vare ca. 12 måneder.

### ***Kroatien***

Kroatien overvejer, om landet skal satse på at udbygge elsystemet med kernekraftenheder, enten i samarbejde med et naboland eller ved selv at bygge en enhed på en af to udpegede pladser. En endelig afklaring forventes først i løbet af 2012.

### ***Litauen***

For ikke at blive for afhængig af naturgas og elektricitet fra Rusland overvejes det at bygge en ny kernekraftenhed på 1000 til 1600 MWe, men det store problem er finansieringen af denne. Der er to konkurrerende kernekraftprojekter i nabolandene, et i det russiske Kaliningrad Oblast mod vest og et mod sydøst ved Ostrovetsk i Hviderusland. Begge er mere eller mindre finansieret af den russiske stat. Risikoen for for stor en produktionskapacitet i området gør det ikke lettere at tiltrække den fornødne kapital til en litauisk enhed.

Dekommissioneringen af Ignalina-værkets to reaktorer ventes at strække sig over 30 år. Et lager til opbevaring af udbrændt brændsel er under opførelse ved Ignalina. Endvidere er der sammesteds bestilt et anlæg til behandling af fast, radioaktivt

affald. Begge projekter er stærkt forsinkede, men trods uenighed om årsagerne hertil arbejdes der hårdt på at få anlæggene færdiggjort. Lageret for brugt brændsel tages i brug i 2010, medens affaldshåndteringsanlægget gradvis tages i brug i 2012-2013.

Et deponi for lav- og mellemaktivt affald er under etablering som et overfladenært deponi i Stabatiškės og forventes taget i drift i 2015. Ved siden af etableres et lager til meget kortlivet og meget lavaktivt affald som et overfladedepot; dette depot ventes taget i brug i 2013. Alle disse installationer indgår i et samlet anlæg til håndtering af alt affald fra Ignalina-værket, og det ligger umiddelbart syd for dette.

### ***Polen***

Udover samarbejdet med de baltiske lande om en ny kernekraftenhed ved Ignalina-værket arbejdes der i Polen med planer om at bygge et kernekraftværk ved Zornowiec. Regeringen vedtog i november 2009 en energiplan for tiden frem til 2030. Planen blev revideret i september 2010. Der sigtes nu mod oprettelse af en selvstændig, nuklear tilsynsmyndighed. Det planlægges at bygge to kernekraftenheder på i alt 3000 MWe, hvor den første enhed skal være i drift i 2022. Miljøvurderinger og pladsundersøgelser skal gennemføres frem til 2013.

Polen har indgået samarbejdsaftaler med EdF, Areva, GE-Hitachi og Westinghouse og arbejder på at få lignede aftaler med flere leverandører. Samtidigt er der indgået samarbejdsaftaler med Frankrig, U.S.A. og Japan om hjælp til opbygning af tilsynsmyndigheder og udarbejdning af den nødvendige lovgivning.

### ***Rumænien***

Landets to kernekraftenheder, Cernavoda-1 og -2, er af CANDU-typen, hver med en effekt på 655 MWe. Det rumænske el-selskab, Nuclearelectrica, har sin egen brændselementfabrik i Pitești, der producerer brændslet til de to enheder.

Færdiggørelsen af Cernavoda-3 og -4, også CANDU-enheder, har været i udbud, og der blev november 2008 indgået en partnerskabsaftale om finansieringen med seks vesteuropæiske elselskaber. Efterfølgende er der opstået problemer med at skaffe den rumænske del af finansieringen, og de fleste af de udenlandske partnere har i 2010 besluttet sig til at forlade projektet på grund af økonomien og usikkerhed omkring afsætningsforholdene. Et 18 måneders forprojekt, besluttet ultimo 2008, er først igangsat i begyndelsen af 2010. Den foreløbige tidsplan er idriftsættelse af Cernavoda-3 i 2016 og Cernavoda-4 i 2017.

To konsortier er under prækvalifikation til færdiggørelsen af projektet, dels et med deltagelse af de firmaer, der færdiggjorde de eksisterende kernekraftenheder i Cernavoda, dels et ledet af det russiske Atomtehprom. Tidsplanen forudsætter udbud i 2011 og valg af leverandør i 2012.

### ***Rusland***

Omkring 67 % af Ruslands elektricitetsproduktion kommer i dag fra gas- og kulfyrede enheder. Resten kommer hovedsageligt fra vandkraftenheder. Mange af Ruslands kernekraftværker er ved at være gamle, og den oprindelige design-levetid på 30 år vil for mange enheder blive overskredet i de nærmeste år. Det vil være nødvendigt at levetidsforlænge disse, indtil der kan etableres alternativer. Da Rusland økonomisk set får 5 gange mere ud af at eksportere gassen end af selv at bruge den til produktion af elektricitet, vil en stadig mindre andel af gassen fremover blive anvendt til indenlandsk elproduktion. Hertil kommer, at eksisterende gasressourcer i Sibirien frem mod år 2020 vil mindskes betydeligt. Rusland satser derfor på en betydelig udbygning af såvel kernekraft som vandkraft, således at de tilsammen vil nærme sig 50 % af den samlede el-produktion omkring 2030.

I januar 2010 besluttede den russiske regering, at brugen af fossilt brændsel til elproduktion stort set skulle ophøre fra 2050. Der skal i stedet satses på udbygning af vandkraft og kernekraft. Reaktorerne skal på længere sigt fortrinsvis bygges som



formeringsreaktorer med en høj grad af passiv sikkerhed, dvs. at de kan lukkes ned uden operatørindgreb eller tilførsel af energi udefra.

Den økonomiske krise har resulteret i forsinkelse af udbygningen af ny kernekraftkapacitet. I september 2009 offentliggjorde man fra russisk side en ny plan for udbygningen. Miljøundersøgelser, byggestart o.l. følger denne plan, indtil videre uden forsinkelser.

Volgodonsk-2 (tidligere kendt som Rostov-2) blev taget i drift i oktober 2010.

Byggeriet af en ny kernekraftenhed ved Neman i Kaliningrad Oblast blev i februar 2010 officielt sat i gang, med forventet start på støbning af reaktorfundament i april 2011. Det officielle navn bliver ”Det Baltiske Kernekraftværk”. Værket ejes i første omgang helt af Rosenergoatom, men det er hensigten at sælge op til 49 % af aktiekapitalen til udenlandske firmaer.

Derudover er der otte større kernekraftenheder under opførelse i Rusland. Endvidere bygges en flytbar kernekraftenhed. Den består af en stor ramme med to reaktorer magen til de, der anvendes i russiske isbrydere.

Rusland har stadigvæk store udbygningsplaner og forventer at tage 17-19 kernekraftenheder i drift i løbet af de næste 10 år. Sammen med de store muligheder for eksport af kernekraftenheder, der i øjeblikket åbner sig i nuværende og kommende kernekraftlande, vil den russiske kernekraftindustri produktionskapacitet blive hårdt belastet.

Rusland har i alt 32 kernekraftenheder i drift, og de står for omkring 17 % af elektricitetsproduktionen. De benyttede reaktorer fordeler sig på fire første generations VVER-440 reaktorer (to model V-230 på Kola og to af den lidt ældre model V-179 i Novovoronezh), to anden generations VVER-440 reaktorer (to model V-213 på Kola), 10 tredje generations VVER-1000 reaktorer (10 V-187/320/338 fordelt på værkerne Balakovo, Kalinin, Novovoronezh og Volgodonsk/Rostov), 11 RBMK-1000 reaktorer fordelt på værkerne Kursk, Leningrad og Smolensk, 4 små EPG-6 reaktorer i Bilibino, der i princippet er opbygget som RBMK reaktorer. Hertil kommer formeringsreaktoren Beloyarsk-3 (BN600), der er en prototype reaktor.

Hvis gamle reaktorer skal tages ud af drift, gasfyrede værker nedlægges og den nukleare andel af elektricitetsproduktionen øges til op mod 25 % i 2030, vil det kræve bygning af flere reaktorer om året, hvilket må anses for at være ganske ambitiøst. Nye reaktorer vil den nærmeste tid hovedsagelig være en videreudvikling af VVER-1000, kendt som VVER-2006 eller VVER-1200 med en effekt på 1200 MWe.

Færdiggørelsen af formeringsreaktoren Beloyarsk-4 (BN800) fortsætter, og den forventes at blive sat i drift i 2014. Denne type vil være velegnet til at køre på våbenplutonium. Den såkaldte hurtige formeringsreaktor udnytter uranet langt bedre end de gængse reaktorer, idet den producerer mere spalteligt materiale, end den forbruger. Det er også planlagt at bygge en bly-bismuth-kølet reaktor i Dimitrovgrad, SVBR (Svintsovo-Vismutovyi Bystryi Reaktor) i 2016 med forventet drift fra 2020. Samtidigt hermed vil man bygge en bly-kølet BREST reaktor i Beloyarsk. Dertil kommer en 150 MWt multi-formåls hurtig formeringsreaktor (MBIR). Endelig vil man bygge en BN-1200 enhed, som ventes færdigdesignet i 2017, hvorefter en prototype vil blive bygget i Beloyarsk. Der satses to mia. dollar på udvikling af disse reaktortyper frem til 2020, hovedsagelig finansieret af staten.

Endvidere bygger man et 70 MWe flydende kernekraftværk med skibsreaktorer til elektricitetsproduktion. Værket har været ramt af talrige forsinkelser pga. problemer med finansieringen og kapacitetsproblemer. Værket hedder ”Akademik Lomonosov”, og det blev søsat ved et skibsværft i St. Petersburg i juni 2010 og skal, når det er færdigbygget i 2012, sejles til Vilyuchinsk på Kamchatka-halvøen ved Stillehavet. Der er planer om at bygge yderligere syv sådanne enheder. Ud over brug af disse

enheder i det arktiske Rusland forventes der også at blive tale om eksport til lande i Sydøstasien. Et isbrydende skib med en kernekraftenhed, Sevmorput, er p.t. under ombygning til boreskib.

Der er udviklet en ny reaktortype på basis af VVER-1000-serien, nemlig en 300 MWe kogendevandsreaktoren med typebetegnelsen VK-300. Den skal anvendes på steder, hvor elnettet ikke tillader tilslutning af de større kernekraftenheder. Parallelt hermed udvikles en 300 MWe trykvandsreaktoren med typebetegnelsen VBER-300 på basis af både skibsreaktorerne og de normale landbaserede VVER-typer. Den skal benyttes i fjerne egne i det nordlige og østlige Rusland, hvor det elektriske net er svagt og el-behovet begrænset.

### ***Slovakiet***

Færdiggørelsen af Mochovce-3 og -4 enhederne, hver på 420 MWe, fortsætter. De planlægges i drift i november 2012 og juni 2013. Endvidere skal effekten på Mochovce-1 og -2 samt Bohunice-3 og -4 øges med i alt 240 MWe.

Der blev i maj 2009 indgået en joint venture aftale med det tjekkiske selskab CEZ om at bygge en ny 1000-1600 MWe kernekraftenhed i Bohunice. En analyse er gennemført i løbet af 2010, og hvis finansiering kan skaffes i løbet af 2011, vil selve byggeriet blive påbegyndt i 2013.

Udover udbygning af Bohuniceværket overvejer den slovakiske regering at bygge en kernekraftenhed ved Kecerovce som afløser for Bohunice-3 og -4.

### ***Slovenien***

Regeringen har foreslået, at der bygges endnu en reaktor i Krsko på cirka 1600 MWe til idriftsætning i 2020. Parlamentet forventedes at behandle forslaget i løbet af 2010, men det er endnu ikke sket.

### ***Tjekkiet***

Temelin kernekraftværket har plads til yderligere 2 kernekraftenheder. CEZ bad i 2008 regeringen om at iværksætte VVM-processen for en sådan udbygning, og en miljøredegørelse blev afleveret til regeringen i maj 2010. Tre leverandører er blevet prækvalificerede i marts 2010. Udbuddet er foreløbig udsat til 2011, og starten på drift af de to kernekraftenheder er udskudt til hhv. 2018 og 2020.

### ***Ukraine***

Ukraine planlægger at bygge op til 22 nye kernekraftenheder over de næste 25 år, men det kniber med finansieringen.

Der har været betydelige problemer med den facilitet, ISF-2, til tør opbevaring af Tjernobyl-værkets brugte brændselelementer, som det franske firma Areva har leveret. Arevas design tog ikke hensyn til, at elementerne normalt deformeres under drift og til, at nogle af elementerne indeholder vand. Det vil fordyre projektet yderligere. Der er indgået et forlig mellem den fond, der finansierer projektet, og Areva, ifølge hvilket Areva skal betale en større godtgørelse til fonden. Fra værkets side vil man i første omgang anbringe alle de udbrændte elementer i det eksisterende ISF-1 lager, et vandfyldt brændselsbassin fra Sovjettiden, for at kunne komme videre med dekommissioneringsarbejdet. Efter forsøg har man valgt at udtørre alle brændselelementer og herefter at anbringes dem i lufttætte, dobbeltvæggede beholdere. Udtørringen vil ret enkelt kunne indpasses i den proces, der er nødvendig for at pakke brændslet i de dobbeltvæggede beholdere.

### ***Ungarn***

Paks-værket blev i perioden 2006 til 2009 renoveret, hvorefter effekten af værkets fire enheder blev øget til 470 MWe netto pr. enhed. Samtidigt blev kontroludrustning

m.v. moderniseret. En levetidsforlængelse af enhederne er godkendt af parlamentet, således at de forventes at kunne fortsætte driften frem til 2032-37.

Parlamentet har godkendt, at der gennemføres en VVM-proces for op til 6000 MWe ny produktionskapacitet med kernekraftenheder. Prækvalifikation af leverandører til to nye kernekraftenheder ved det eksisterende kraftværk i Paks er i gang. Værket forventer at udsende invitationer til de accepterede leverandører i sidste del af 2011 med byggestart i 2012 og første enhed i drift i 2020, anden i 2025. Finansieringen er endnu ikke på plads.

## **Nordamerika**

USA og Canada har tilsammen 122 kernekraftenheder, der dækker ca. 19 % af elforbruget. Mexico har et enkelt kernekraftværk med to enheder, der dækker 4 % af landets elforbrug.

### ***Canada***

De canadiske kernekraftværker ligger alle i den østlige del af landet: De to store værker, Bruce og Pickering med hver seks enheder i drift, samt Darlington med fire enheder i drift ligger i Ontario. Quebec og New Brunswick har hver en enkelt enhed, henholdsvis Gentilly og Point Lepreau, i drift. Alle enhederne er CANDU-enheder, forsynet med reaktorer, der er udviklet af det canadiske AECL.

To af de oprindelig otte enheder i Pickeringværket er lukket ned. Flere af enhederne ved Bruce-værket har været lukket ned gennem de senere år for at blive renoveret. Bruce-1 og -2 enhederne, der har været ude af drift siden henholdsvis 1997 og 1995, undergår større renoveringsarbejder og får herved en forøget levetiden med 25 år. De forventes igen taget i drift i 2011. Point Lepreau- og Gentilly- enhederne undergår ligeledes renoveringsarbejder, der sigter på at forlænge deres levetid med 25-30 år, så de kan fortsætte driften til ca. 2040. Renoveringen af CANDU reaktorerne består blandt andet i udskiftning af brændselskanaler og dampgeneratorer. De gamle dampgeneratorer sejles til Sverige for affrensning af radioaktive emner (dekontaminering).

Canada har nogle af verdens største reserver af uran og en betydelig minedrift. Den største mine, Cigar Lake, har været taget ud af drift, siden minen blev delvist oversvømmet i 2006. Arbejdet med at gøre minen klar til fornyet brydning af uran er forsinket, og minen ventes derfor først at blive taget i brug igen i 2011.

Som en følge af Fukushima-ulykken i Japan, har de canadiske sikkerhedsmyndigheder (Canadian Nuclear Safety Commission) afkrævet ejerne af kernekraftenheder en gennemgang af sikkerheden på værkerne samt forslag til eventuelle forbedringer.

### ***USA***

USA har 65 kernekraftværker med i alt 104 enheder i drift. En enkelt enhed, Watts Bar-2, er under opførelse. De fleste af værkerne ligger i den østlige og sydlige del af USA. Den samlede installerede effekt er på ca. 100 GWe, og kernekraft udgør ca. 20 % af el-produktionen.

Den største udbygning af kernekraft fandt sted i 70'erne og i 80'erne, men mange af værkerne var i begyndelsen karakteriseret ved en dårlig økonomi på grund af overkapacitet. Efter ulykken på Three Mile Island i Pennsylvania i 1979 blev der ikke bestilt nye værker, og de amerikanske kernekraftenheder er derfor i dag forholdsvis gamle. Enhederne har haft en oprindelig driftstilladelse på 40 år, men i de senere år har mange af enhederne fået forlænget deres driftstilladelse med 20 år. Derfor påregnes det, at de fleste af USA's kernekraftværker kan fortsætte driften i alt 60 år.

På det seneste har en række delstaterne gennemført stramninger af deres vandløbslovgivning. Dette har medført, at delstaterne kræver køling af kernekraftværker ved hjælp af køletårne. Opførelse af køletårne er forbundet med store omkostninger, og kan medføre, at ældre kraftværker bliver urentable. I praksis har resultatet derfor i en række tilfælde været, at kraftværksejeren, efter at en forlængelse af enhedens levetid er opnået, har indgået en aftale med de lokale miljømyndigheder om, at reaktoren lukkes midt i den forlængede driftsperiode. Til gengæld slipper ejeren for at bygge køletårnene, som for hver enhed ville koste cirka 1 mia. dollars og medføre en reduktion af elproduktionen på 3-5 %.

Siden 2007 er der indsendt 18 ansøgninger om opførelse af i alt 27 nye kernekraftenheder. En enkelt ansøgning om at opføre en USEPR enhed ved Callaway i Missouri blev trukket tilbage i 2009.

Fem ansøgninger for i alt ni enheder har enten fået eller påregnes at modtage lånetilsagn: South Texas Project (to 1350 MWe ABWR-enheder), Vogtle i Georgia (to AP1000 enheder), Virgil C. Summer i South Carolina (to AP1000 enheder), Calvert Cliffs i Maryland (en USEPR enhed) samt Levy County i Florida (to AP1000 enheder). I alle tilfælde er lånetilsagnene afhængige af, at enhederne opnår bygge- og driftstilladelse. De ni enheder har en samlet effekt på 11.000 MWe, og såfremt de godkendes af myndighederne, kan enhederne blive sat i drift i perioden 2016-2019.

De resterende 12 ansøgninger vedrører opførelsen af 17 enheder, med en samlet installeret kapacitet på 24.000 MWe. En enkelt af ansøgningerne er ændret til en ansøgning om godkendelse af en reaktorbyggeplads (ESP), idet det ikke er besluttet, hvilken reaktortype, der skal bygges. Ud over disse ansøgninger forventes det, at der i de kommende år bliver indsendt endnu fire ansøgninger om opførelse af i alt seks enheder.

Efter Fukushima ulykken i Japan har præsiden Barack Obama udtalt, at han stadig støtter bygning af nye kernekraftværker. De nukleare sikkerhedsmyndigheder (U.S. Nuclear Regulatory Commission, NRC) har, som det er tilfældet i Canada, afkrævet værkejerne en gennemgang af sikkerheden på samtlige 104 enheder. NRC har på baggrund af inspektioner konkluderet, at selv efter svære skader i forbindelse med ekstreme hændelser, vil såvel reaktorkerner som brændselsbassiner kunne holdes kølet, idet der dog skal indføres en række forbedringer.

## **Asien**

I Asien har Armenien, Indien, Japan, Kina, Pakistan, Sydkorea og Taiwan kernekraftværker i drift.

### ***Forenede Arabiske Emirater***

De Forenede Arabiske Emirater planlægger at opføre et kernekraftanlæg med fire APR-1400 enheder ved Braika vest for Abu Dhabi. Reaktorerne skal leveres af det sydkoreanske firma KEPCO, og enhederne ventes færdigbygget i perioden 2017-20. Prisen på værket vil blive 20,4 mia. dollar. I december 2010 blev ansøgningen om byggetilladelse for de første to enheder indsendt til myndighederne, og efter planen kan byggeriet påbegyndes i 2012.

### ***Indien***

Indien har et stort antal relativt små kernekraftenheder, og kernekraft udgør ca. 2% af elforsyningen. Hovedparten af enhederne er baseret på den indisk udviklede tungtvandsreaktor (PHWR) på 202 MWe. Reaktortypen er oprindeligt udviklet i samarbejde mellem Nuclear Power Corporation of India Ltd (NPCIL) og det

canadiske AECL og baserer sig på det canadiske CANDU design, men reaktoren er siden blevet videreudviklet af NPCIL.

I marts 2010 blev Rajasthan-6 enheden, også forsynet med en 202 MWe PHWR enhed, sat i drift. Enheden efterfølges i 2011 af Kaiga-4, som vil blive den sidste indiske 202 MWe enhed. Rajasthan-6 og Kaiga-4 er begge stærkt forsinkede pga. af vanskeligheder med at skaffe uranbrændslet til reaktorerne. Rajasthan-6 og dens søster-enhed, Rajasthan-5, benytter begge importeret uran, hvilket er muligt, da begge enheder har været under IAEA-kontrol siden 2009. Kaiga-4 enheden er derimod ikke underlagt IAEA kontrol, og enheden kan derfor ikke benytte importeret uran.

To nye enheder blev påbegyndt i 2010: Kakrapar-3 og -4, hver på 630 MWe. Dermed er i alt fem enheder under opførelse i Indien. Kakrapar-3 og -4 er begge tungtvandsmodererede enheder med en effekt på 630 MWe. De er en videreudvikling af de ældre 202 MWe enheder. De to Kakrapar enheder er planlagt sat i drift i 2015 og 2016.

Indien har planer om at udbygge kernekraftkapaciteten til 20.000 MWe i 2020 og 63.000 MWe i 2032, og målsætningen er at kernekraft i 2050 vil udgøre 25% af el-produktionen. Indien har ikke underskrevet ikke-spredningstraktaten (NPT), og Indien har derfor siden landets første prøvesprængning i 1974 været afskåret fra import af kernekraftteknologi og -brændsel. Det indiske kernekraftprogram har derfor sigte på at opnå en udpræget grad af uafhængighed, og landet har udviklet sit eget brændselskredsløb, bl.a. baseret på thorium, da Indien kun har små uran-reserver, men betydelige thoriumforekomster.

Siden 2009 har Indien imidlertid indgået en aftale om IAEA kontrol af landets ikke-militære installationer, og Indien har efterfølgende kunnet indgå en række aftaler med USA og andre kernekraftlande om overførsel af kernekraftteknologi og import af uran. I 2010 indgik Indien en aftale med Canada om fornyet samarbejde om udvikling af kernekraftteknologi, hvilket inkluderer levering af uran, design, konstruktion og vedligeholdelse af reaktorer, samt dekommissionering og behandling af radioaktivt affald.

### ***Iran***

Iran første kernekraftværk ved Bushehr med en enkelt VVER 1000 enhed ventes sat i drift i 2011. Opførelsen af værket blev påbegyndt af Frankrig i 1975, men blev stoppet i 1979, og har som følge af en international embargo mod Iran været mange år undervejs, men det blev til slut færdigbygget af Rusland. I 2010 blev indsættelsen af brændsel i reaktoren påbegyndt under IAEA kontrol. Rusland, der leverer brændslet, vil også tage det brugte brændsel retur.

Irans kernekraftprogram har været under stor international bevågenhed, idet der er frygt for, at Iran vil udvikle atomvåben. Specielt har Irans berigningsanlæg ved Natanz og Qom været genstand for opmærksomhed, da anlæggene, som efter landets eget udsagn er til brug for berigning af uran til kraft- og forskningsreaktorer, også vil kunne benyttes til berigning af uran til våbenproduktion. De iranske berigningsanlæg er dog under IAEA-kontrol.

### ***Japan***

Japan genstartede i 2010 den natrium-kølede hurtigreaktor Monju. Monju reaktoren blev lukket ned i 1996, efter at der opstod en lækage i det sekundære natrium-kølesystem. Reaktoruheldet medførte ikke noget udslip af radioaktivitet, men operatøren af værket er siden blevet stærkt kritiseret for forsøg på at skjule omfanget af uheldet. Monju reaktoren har en elektrisk effekt på 280 MWe, men er hovedsageligt en eksperimentel reaktor, der indgår i udviklingen af 4. generations hurtigreaktorer.

I maj 2010 blev byggeriet af Ohma-1 enheden påbegyndt. Ohma-1 vil blive forsynet med en 1325 MWe ABWR enhed, der er baseret på Hitachi-GE/Toshiba design. Ohma-1 er planlagt til at blive sat i drift i 2014. Med påbegyndelse af Ohma-1 enheden har Japan nu to kernekraftenheder under opførelse, og yderligere 12 enheder er planlagt.

Fukushima-ulykken (se afsnit 3.2) i marts 2011 har betydet, at en række af Japans kernekraftværker er blevet lukket, enten permanent eller midlertidigt, indtil sikkerheden ved værkerne er blevet analyseret og nødvendige sikkerhedstiltag er gennemført. De fire ulykkesramte Fukushima enheder (Fukushima 1-4) er afskrevet og skal dekommissioneres. Midt i maj 2011 er kun 17 ud af Japans resterende 50 kernekraftenheder i drift: 22 enheder var lukket ned inden ulykken på grund af brændselsudskiftning og vedligeholdelse, mens 11 enheder blev lukket ned ved jordskælvet den 11. marts 2011 og de har ikke fået tilladelse til at genoptage driften. Dermed er pt. kun ca. 15 GWe eller 35% ud af den samlede kernekrafteffekt på 43 GWe til rådighed, og der kan opstå el-mangel hen over sommeren, hvis det ikke lykkes at genetablere en tilstrækkelig elforsyning.

### ***Jordan***

Jordan har ikke kernekraft, men forbereder opførelsen af landets første kernekraftværk. Værket vil formentlig blive placeret ved Aqaba-bugten tæt på den israelske og ægyptiske grænse og skal både anvendes til elproduktion og afsaltning af havvand. Den jordanske atomenergikommission, JAEC, har udvalgt tre mulige reaktortyper til værket: Den canadiske AECL's Candu-6 reaktor, Atomstroyexport's VVER-1000 reaktor og Areva/Mitsubishis Atmea-1 PWR. JAEC regner med, at anlægget kan stå færdigt i 2020.

Areva har opnået rettigheder til at starte uranminedrift i det centrale Jordan og har dannet et joint venture selskab i Jordan, Nabataean Energy, med henblik på udnyttelsen af uranforekomsterne.

### ***Kazakhstan***

Kasakhstan har ikke kernekraft, men har betydelige uranforekomster. I 2009 var den samlede produktion af uran på 13.900 tons, og landet var dermed verdens største producent af uran.

Kasakhstan har tidligere forhandlet med Rusland og senest med Japan om at forberede indførelsen af kernekraft. Det japanske initiativ sigter mod at opføre en mellemstor enhed baseret på et Toshiba design.

### ***Kina***

Kina har 13 kernekraftenheder i drift med en samlet kapacitet på i alt 10 GWe. Kernekraft udgør dermed under 2% af landets samlede elforsyning, der hovedsageligt er baseret på kulkraft (ca. 80%) og vandkraft (ca. 15%). Kina har imidlertid meget ambitiøse planer for udbygning af kernekraft, og alene i 2010 blev byggeriet af 10 enheder påbegyndt: Ningde-3 (1000 MWe PWR), Taishan-2 (1700 MWe EPR), Changjiang-1 (610 MWe PWR), Haiyang-2 (1000 MWe AP-1000), Ningde-4 (1000 MWe PWR), Yangjiang-3 (1000 MWe PWR), Changjiang-2 (610 MWe PWR), Fangchenggang-1 og -2 (2x1000 MWe PWR) samt Fuqing-3 (1000 MWe PWR). Kina har dermed 27 kernekraftenheder under opførelse, hvilket er flere, end der er under opførelse i resten af verden.

Areva skal levere to EPR-enheder til Taishan-1 og -2, idet de to enheder opføres af et joint venture mellem det franske firma EDF og det kinesiske firma CGNPC. Disse to firmaer skal også eje og stå for driften af værket. Westinghouse skal levere AP1000 enheder til Haiyang-1 og -2 samt til Sanmen-1 og -2. Alle øvrige enheder, der er under bygning, vil være kinesiske enheder, enten CPR-1000 eller CNP-600. CNP-600 er forsynet med en trykvandsreaktor, der er udviklet i samarbejde med

Westinghouse og Framatome, mens CPR-1000 enheden er baseret på den franske 900 MWe serie af trykvandsenheder, men videreudviklet i Kina. CPR-1000 enheden udgør hovedparten af det kinesiske udbygningsprogram for kernekraft. Kina tilstræber at overtage IPR rettighederne til de to enheder med henblik på at kunne eksportere dem.

I 2010 blev to nye enheder sat i drift: Lingao-3 på 1000 MWe (CPR-1000) blev sat i drift i juli 2010, og Qinshan II-3 på 610 MWe blev koblet til nettet i august 2010. Lingao-3 enheden er den første enhed, der er opført med CPR-1000 enheden. Byggetiden for enheden har været 54 måneder. Qinshan II-3 enheden er baseret på CNP-600 enheden, og byggetiden for enheden har været 53 måneder, hvilket er tre måneder hurtigere end planlagt.

Kina planlægger at have udbygget el-effekt baseret på trykvandsreaktorer til 70-80 GWe i 2020 og til ca. 200 GWe i 2040. Samtidig vil kernekraft baseret på hurtigreaktorer blive udbygget i perioden fra 2020. Den samlede kernekrafteffekt forventes at kunne vokse til ca. 200 GWe allerede i 2030 og til 400-500 GWe i 2050. Med den planlagte udbygning vil kernekraft i 2020 dække 5-6 % af Kinas elforsyning.

Fukushima-ulykken i marts 2011 medførte, at regeringen den 16 marts 2011 indførte et midlertidigt stop for godkendelse af nye kernekraftenheder og foranledigede, at sikkerheden ved de eksisterende værker samt de, der er under opførelse, skulle gennemgås. Ulykken betyder, at udbygningen af de kystnære kernekraftværker ved Den Kinesiske Hav er sat i bero. Derimod ventes Fukushima-ulykken ikke for alvor at påvirke det langsigtede udbygningsprogram for kernekraft.

### **Sydkorea**

Sydkorea har ambitiøse planer om at udbygge landets kernekraftkapacitet og sigter samtidig mod at blive en førende eksportør af kernekraftteknologi. Sydkorea indgik i 2010 en aftale med De Forenede Arabiske Emirater om salg af fire APR-1400 enheder, og forhandler med bl.a. Rumænien, Tyrkiet, Jordan og Ukraine om salg af denne enhed. APR-1400 enheden er baseret på amerikansk og fransk PWR-design, men er videreudviklet af Sydkorea.

Sydkorea har 21 kernekraftenheder i drift, mens yderligere seks enheder er under opførelse. Derudover planlægges det at opføre otte enheder inden 2024, hvorved kernekraft kommer til at bidrage med ca. 50% af landet elforsyning. I 2010 blev Shin Kori-1 enheden sat i drift. Enheden, der er forsynet med en OPR-1000 reaktor, er på 1000 MWe, og er den første af de i alt fire enheder, der skal opføres på værket. Shin Kori-2 enheden, der også er på 1000 MWe, ventes sat i drift i 2011, mens de to sidste enheder, Shin Kori-3 og -4, begge på 1340 MWe, vil stå færdige i henholdsvis 2013 og 2014.

### **Tyrkiet**

Tyrkiet har ikke kernekraft, men planlægger at bygge to værker med i alt otte enheder.

Rusland har indgået en aftale med Tyrkiet om at opføre et kernekraftværk ved Akkuyu med fire VVER 1200 enheder. Værket skal opføres af Rosatom, der også skal stå for driften af værket. I aftalen indgår, at Tyrkiet aftager elektricitet fra værket i op til 15 år til en pris af ca. 65 øre/kWh. Desuden indgår det i aftalen, at Rusland tager det brugte brændsel tilbage fra værket. Værket ventes at koste ca. 20 mia. USD, og de fire enheder er planlagt til at blive sat i drift i perioden 2018-21.

Tyrkiet har endvidere indgået en aftale med det sydkoreanske firma KEPCO om at forberede opførelsen af et kernekraftværk ved Sinop ved Sortehavskysten. Værket er planlagt til at have fire APR-1400 enheder. Desuden planlægges opførelsen af et nukleart teknologicenter til 1,7 mia. USD.

## ***Vietnam***

Vietnam har indgået en aftale med Rusland om at opføre et kernekraftværk, Ninh Thuan-1, ved Phuoc Dinh i det sydlige Vietnam. Værket kommer til at bestå af to VVER-1000 eller VVER-1200 enheder, der skal leveres af russiske Atomstroyexport. Byggeriet vil kunne begynde i 2014, og efter planen skal værket stå færdigt i 2020. I aftalen indgår, at Rusland leverer brændslet og tager det brugte brændsel retur, hvilket er normalt for tilsvarende aftaler mellem Rusland og ikke-kernevåben lande.

Vietnam har planer for opførelsen af 14 kernekraftenheder med en samlet effekt på 15.000 MWe. De to enheder ved Ninh Thuan bliver de første, efterfulgt af to enheder ved Vinh Hai i det centrale Vietnam. Prisen på de første to værker ventes at blive over 11,3 mia. dollar.

## **Andre lande**

I Sydamerika og Afrika er det kun Argentina, Brasilien og Sydafrika, der har kernekraftværker, men et voksende antal lande i disse verdensdele har vist interesse for at indføre kernekraft.

### ***Argentina***

Argentina har indgået aftaler om nukleart samarbejde med Indien og Canada. Alle tre lande er interesserede i tungtvandsreaktorer. Samarbejdsaftalen med Canada omfatter levetidsforlængelse af den argentinske Candu-enhed og udvikling af den avancerede Candu-enhed ACR-1000.

Argentina har to kernekraftenheder, Atucha-1 fra 1974 og Embalse enheden fra 1983. Derudover er Argentina i gang med at opføre enheden Atucha-2, der forventes at blive sat i drift i 2011. Atucha-1 og -2 enhederne på henholdsvis 330 og 700 MWe. De er forsynet med tungtvandsreaktorer, der er designet af Siemens. Denne type findes kun i Argentina. Et moderniseringsprogram for Embalse-enheden er ved at blive gennemført i samarbejde med Atomic Energy of Canada Ltd (AECL), så driften af enheden kan forlænges med 25 år.

Det argentinske senat godkendte i 2009 opførelsen af landets fjerde kernekraftenhed, en 740 MWe CANDU-6 enhed, der skal leveres af det canadiske AECL. Enheden kommer sandsynligvis til at blive opført i tilknytning til Atucha-værket.

Det planlægges at opføre en prototype af den argentinsk udviklede CAREM enhed i den nordvestlige Formosa provins. CAREM enheden består af en lille og simpel, modulær trykvandsreaktor med en termisk effekt på 100 MW. Enheden kan benyttes til el-produktion (27 MWe), eller til kombineret ferskvands- og elproduktion (8 MWe). Enhedens effekt kan øges til 100 eller 300 MWe. Argentina håber på at kunne eksportere enheden.

### ***Brasilien***

Brasilien har en ny kernekraftenhed, Angra-3, under bygning ved landets eneste kernekraftværk, som ligger i nærheden af Rio de Janeiro. Derudover planlægges bygning af fire nye kernekraftenheder, to i landets nordøstlige, underudviklede del og to i den industrielle, sydøstlige del.

Brasilien har planer om en væsentlig udbygning af kernekraft i de kommende år. Præsident "Lula" da Silva har foreslået, at Brasilien opfører i alt 50-60.000 MWe kernekraft, hvilket vil betyde en 30-dobling af den nuværende kapacitet og gøre Brasilien til et af de lande, der har det største antal kernekraftenheder. Nær Angra værket i sydøst og i det nordøstlige Brasilien nær Recife er der reserveret plads til at opføre i alt tolv 1000 MWe enheder. Elforsyningsselskabet Eletronuclear planlægger at opføre de to første enheder ved Recife i 2019 og 2021, og to nye enheder ved Angra-værket i 2023 og 2025.



## 2 Udvikling af reaktorer og sikkerhed

### 2.1 Reaktorudviklingen

I 2001 startede det amerikanske Department of Energy (DoE) sammen med Frankrig, Japan, Canada, Sydkorea et samarbejde om udvikling af 4. generations kraftreaktorer. Senere har Rusland og Kina samt andre lande tilsluttet sig samarbejdet, der går under navnet Generation IV International Forum eller GIF. EU deltager i GIF via Euratom samarbejdet.

GIF samarbejdet har som målsætning at udvikle reaktorer ud fra fem fundamentale kriterier:

1. Bæredygtighed
2. Sikkerhed og pålidelighed
3. Minimering af radioaktivt affald
4. Ikke-spredning og fysisk beskyttelse
5. Økonomi

Af oprindeligt over hundrede forskellige reaktortyper er seks hovedtyper udvalgt i GIF samarbejdet:

GFR (Gas-cooled Fast Reactor), gaskølet hurtigreaktor

LFR (Liquid-cooled Fast Reactor), blykølet hurtigreaktor

MSR (Molten Salt Reactor), reaktor med flydende brændsel

SFR (Sodium cooled Fast Reactor), natriumkølet hurtigreaktor

SCWR (SuperCritical Water cooled Reactor), superkritisk vandkølet reaktor

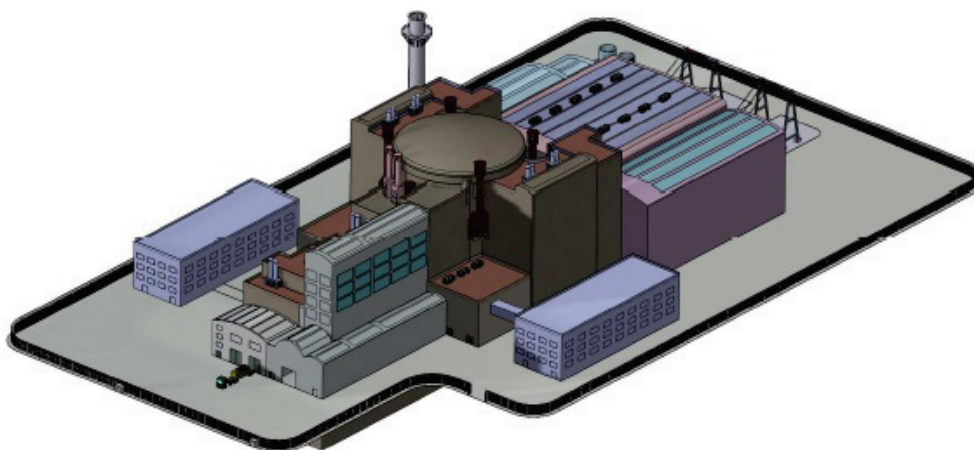
VHTR (Very High Temperature Reactor), meget høj temperatur reaktor.

EU deltager i udviklingen af alle seks reaktortyper, og de første 4. generations reaktorer ventes at være udviklet fra 2030. I Frankrig planlægges det at bygge en prototype SFR, ASTRID, der ventes klar i 2022. Baseret på et belgisk design planlægges det at konstruere en kombineret accelerator-drevet LFR, MYRRHA, i 2023. Derudover planlægges det at opføre en LFR demonstrationsreaktor, ALFRED, og en GFR demonstrationsreaktor, ALLEGRO, begge fra ca. 2025.

#### ***ASTRID***

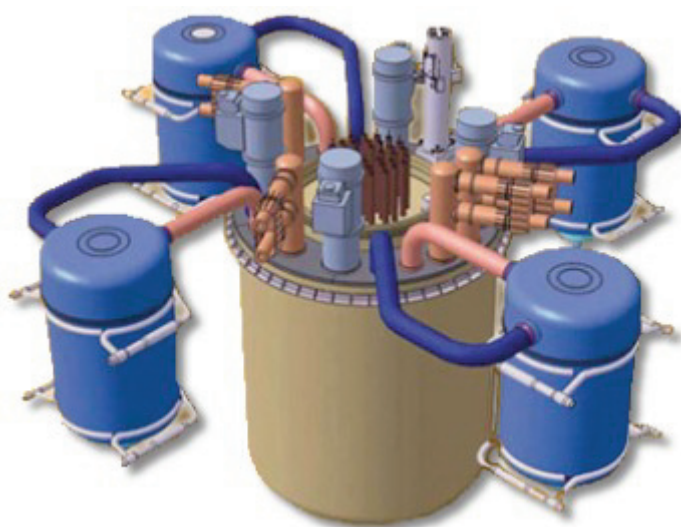
ASTRID (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration) er et projekt startet af Frankrig med Areva og CEA som partnere. Dette initiativ taget af fransk nuklear industri (Areva) og de nukleare myndigheder (CEA) har et foreløbigt budget på 650 mio. euro, der er bevilget af den franske regering. Den første kommercielle prototype er på 600 MWe og skal stå færdig ca. 2022. Man håber med projektet at kunne demonstrere, at designet opfylder kravene til 4. generations reaktorerne om høj pålidelighed og tilgængelighed, genanvendelse af brugt brændsel (afbrænding af actinider) og minimal risiko for misbrug af fissilt materiale. Designet bygger i stor udstrækning på de erfaringer, man har gjort fra den nu nedlukkede franske hurtigreaktor Phenix.

Figur 2.1 viser designforslag for ASTRID reaktoranlægget.



*Figur 2.1 Layout af ASTRID reaktoranlæg*

I det foreløbige design er reaktoren udformet som en pool-type reaktor med fire natrium varmevekslere (Figur 2.2). Reaktoren er af sikkerhedsmæssige årsager forsynet med natrium-natrium varmevekslere, hvor dampgeneratorerne er koblet til det sekundære natrium-kredsløb, og er desuden forsynet med en "core catcher", der skal opfange smeltet brændsel i tilfælde af en alvorlig ulykke.



*Figur 2.2 Pool-type reaktor med fire natrium varmevekslere (SFR)*

### **MYRRHA**

MYRRHA var oprindeligt et belgisk initiativ med det formål, at designe en fleksibel bestrålningsfacilitet med mange anvendelsesformål til erstatning for BR2, en udtjent belgisk testreaktor for materialestudier. Siden er MYRRHA blevet opgraderet til en af hjørnestenene i European Research Area of Experimental Reactors (ERAER) og indgår i GIF samarbejdet.

I MYRRHA projektet udvikles den blykølede hurtigreaktor som en European Technology Pilot Plant (ETPP), der forventes i drift fra 2024. MYRRHA vil

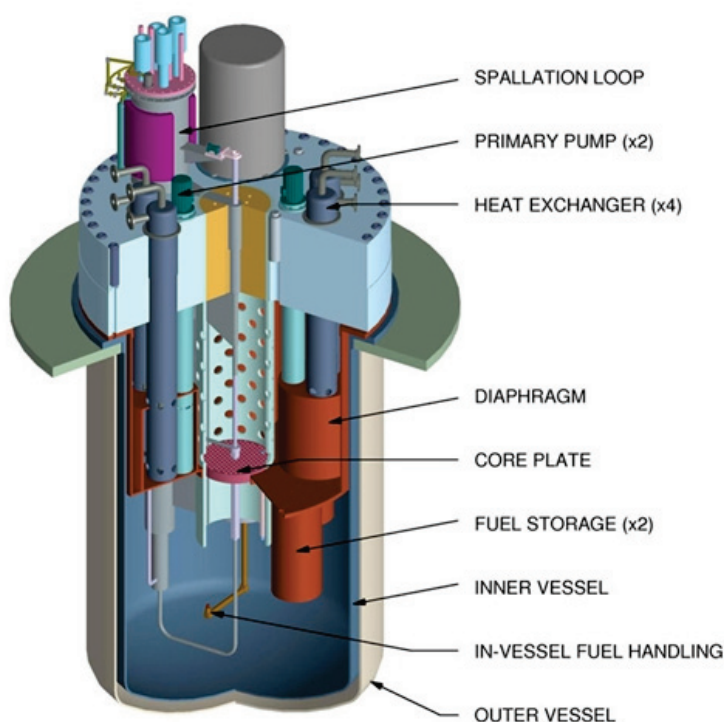
samtidig være et accelerator-drevet system (ADS), der muliggør at reaktoren kan køres underkritisk.

Formålet med projektet er følgende:

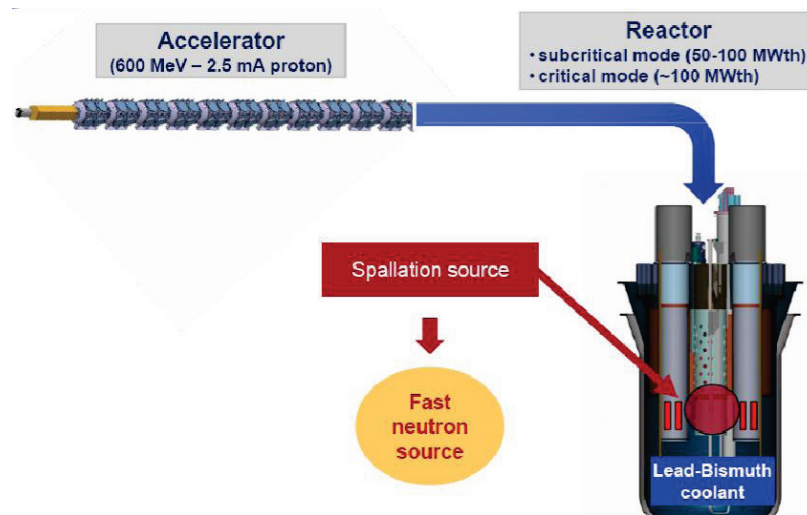
1. Demonstration af ADS teknologien, accelerator drevne systemer, i fuld skala med henblik på transmutation af højaktivt affald. Systemet skal kunne opereres både som en under-kritisk og som en kritisk reaktor.
2. Demonstration af 4. generations blykølet hurtigreaktor teknologi.
3. Udvikling af en europæisk bestrålningsfacilitet med hurtig-neutron spektrum med henblik på test af materialer til ADS-systemer, 4. generations reaktorer og fusionsanlæg.

MYRRHA reaktoren er designet som en pool-type hurtigreaktor, der anvender MOX brændsel med op til 30% plutonium, og med en termisk effekt på 100 MW. Det primære kølesystem er en bly-vismuth legering med vand/damp på den sekundære side af varmevekslerne. Både pumper og varmevekslere er integreret i reaktortanken, se Figur 2.3.

Den til ADS systemet hørende accelerator er en lineær protonaccelerator på 600 MeV, som via et endnu ikke fastlagt target vil være i stand til producere  $10^{17}$  neutroner/s ved reaktorens midtplan (Figur 2.4). Beregninger har vist, at dette system skulle kunne opereres underkritisk med en effektiv multiplikationskonstant  $k_{\text{eff}} = 0,95$ .



Figur 2.3 Design af MYRRHA (ADS-LFR)



*Figur 2.4 Principskitse af MYRRHA ADS-system*

## 3 Nuklear sikkerhed

### 3.1 Sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft

INES-skalaen, "The International Nuclear Event Scale", blev udviklet af IAEA og OECD i 1990 med henblik på at kunne informere offentligheden om den sikkerhedsmæssige betydning af nukleare hændelser eller ulykker på en konsistent og standardiseret form. Skalaen strækker sig fra niveau 1, hvor hændelser med ringe sikkerhedsbetydning indplaceres, til niveau 7, hvor de helt store ulykker indplaceres. Se nærmere om INES i appendiks A.

De af IAEA's medlemslande, der er tilsluttet INES-systemet, er forpligtet til at indrapportere hændelser klassificeret på niveau 2 og opefter til IAEA. Hændelser på niveau 1 eller 0, sidstnævnte betegnes som værende under skalaen, skal kun indrapporteres, såfremt disse skønnes at have særlig interesse for andre lande.

Kun hændelser på kernekraftværker, som er klassificeret på niveau 2 og opefter, er refereret i det følgende. For kraftreaktorernes vedkommende blev der i 2009 rapporteret 4 hændelser på niveau 2 eller højere. I 2010 forekom der på verdens kernekraftværker igen 4 hændelser på niveau 2 eller højere.

#### ***Shin-Kori-1 hændelsen den 17. september 2010 i Sydkorea. INES-2.***

Værket Kori, der består af fire ældre PWR enheder, en nybygget PWR enhed (Shin-Kori-1) samt en PWR enhed, der er under opførelse (Shin-Kori-2), er beliggende i det sydøstlige hjørne af Sydkorea. Shin-Kori-1 er på 1000 MWe.

Den 17. september 2010 var den netop færdigbyggede enhed i gang med at blive testet, inden den kunne tages i brug.

Ved et uheld blev isolations-ventilen til sprinkling af reaktorindeslutningen åbnet. Sprinklingssystemet er sammen med nødkølesystemet koblet til en stor tank med borholdigt vand, RWT (Refueling Water Tank).

Åbningen af ventilen skabte en direkte forbindelse fra det primære kølesystem via nødkølesystemet til reaktorindeslutningen. Som et resultat af dette faldt trykket inde i den primære kølekreds, og operatørerne aktiverede derfor ifølge gældende procedurer en isolering af reaktorindeslutningen og aktiverede nødkølesystemerne. I alt 423 tons borholdigt vand fra den primære kreds og RWT tanken blev sprøjtet ind i reaktorindeslutningen, inden den åbne ventil blev identificeret og lukket. Der var ikke bestråling af ansatte eller udslip fra reaktoren.

Som udgangspunkt er dette en niveau 1 hændelse, men på grund af problemer med sikkerhedskulturen blev den opgraderet til niveau 2.

#### ***H.B. Robinson-2 hændelsen den 16. april 2010 i USA. INES-2.***

Værket, der består af en enkelt PWR enhed på 724 MWe, er beliggende ved Lake Robinson i South Carolina. Den 28. marts 2010 skete der en elektrisk fejl, som ikke automatisk blev isoleret af et kraftigt relæ, kaldet en "bus-tie breaker". Vigtigt elektrisk udstyr er koblet til den elektriske "bus" gennem dette relæ. Hvis de



elektriske parameterværdier ikke holder sig inden for visse grænseværdier, skal det elektriske udstyr beskyttes ved, at relæet åbner. Da dette vigtige relæ ikke virkede efter hensigten, opstod der en brand og spændingsfald på en af de tre hovedcirkulationspumper. Dette udløste en automatisk nedlukning af reaktoren. Det viste sig efterfølgende, at en kontrollampe for indikation af strøm til aktivering af relæet havde været slukket i måneder.

Operatørerne var herefter ikke opmærksomme på, at trykket i tryktanken faldt, fordi opmærksomheden var rettet mod branden. Et for lavt tryk udløste nødkølingssystemet. Via et alternativt relæ blev den elektriske fejl isoleret og branden bekæmpet. Relæet blev nu atter lukket, uden at man havde fundet årsagen til de elektriske problemer, og som følge heraf opstod en ny brand. Dette medførte yderligere komplikationer: Jordkobling af to DC-busser, manglende køling til hovedcirkulationspumper samt manglende automatisk skift til "Refueling Water Storage Tank" fra "Volume Control Tank", da et signal indikerede lav vandstand i sidstnævnte. Operatørerne skulle have været opmærksomme på alle tre forhold og have afhjulpet problemerne. Hovedcirkulationspumperne kan, som det er tilfældet med mange andre komponenter, ikke undvære køling ret længe uden at bryde sammen.

Denne hændelse var som udgangspunkt vurderet som niveau 1, men på grund af den gennem flere måneder manglende kontrolstrøm til styring af "bus-tie breaker" samt talrige operatørfejl, blev hændelsen opgraderet til niveau 2.

#### ***Leibstadt hændelsen den 31. august 2010 i Schweiz. INES-2***

Værket Leibstadt, der består af en enkelt BWR enhed på 1190 MWe, er beliggende i det nordlige Schweiz ved floden Rhinen tæt på grænsen til Tyskland.

Under den årlige nedlukning for brændselsskift og vedligeholdelsesarbejder skulle en dykker udføre et arbejde i et brændselsbassin. Dykkeren samlede et uidentificeret objekt op fra bunden af bassinet og placerede det i en dertil indrettet transportkurv. Da kurven nærmede sig vandoverfladen udløste stråling fra kurven en områdealarm, hvorefter kurven blev sænket igen. Der var placeret dosimetre forskellige steder på dykkerens krop, og det viste sig, at opsamling af genstanden havde givet en dosis til hånden på 1000 mSv. Helkropsdosis overskred ikke den tilladte grænseværdi for årlig dosis på 20 mSv, og der forventes ingen helbredsmæssige konsekvenser for dykkeren. 1000 mSv er det dobbelte af den tilladte årlige dosis til hænder (ekstremiteter). Objektet viste sig at være et brudstykke til et rør, der omslutter et måleinstrument til målinger inde i kernen.

#### ***Chinon-B4 hændelsen den 23.april 2010 i Frankrig. INES-2.***

Værket Chinon, der består af fire PWR enheder på hver 905 MWe, er beliggende i det nordvestlige Frankrig ved floden Loire omkring 10 km fra byen Chinon.

Hændelsen er fuldstændig analog til INES-2 hændelsen i Leibstadt. Også i dette tilfælde foretog en dykker en visuel inspektion af brændselsbassinet i forbindelse med en nedlukning og samlede et objekt op fra bassinbunden. Dosimetre på kroppen af dykkeren gav alarm, men inden objektet blev sluppet igen, nåede hånden at modtage en dosis på 750 mSv, hvilket er 1,5 gange den tilladte årlige dosis til ekstremiteter. Den beregnede helkropsdosis til dykkeren blev mindre end 2 mSv og derfor under den tilladte årlige dosis på 20 mSv. Ved såvel hændelsen i Leibstadt som hændelsen i Chinon manglede der procedurer, som kunne forebygge denne type hændelser.



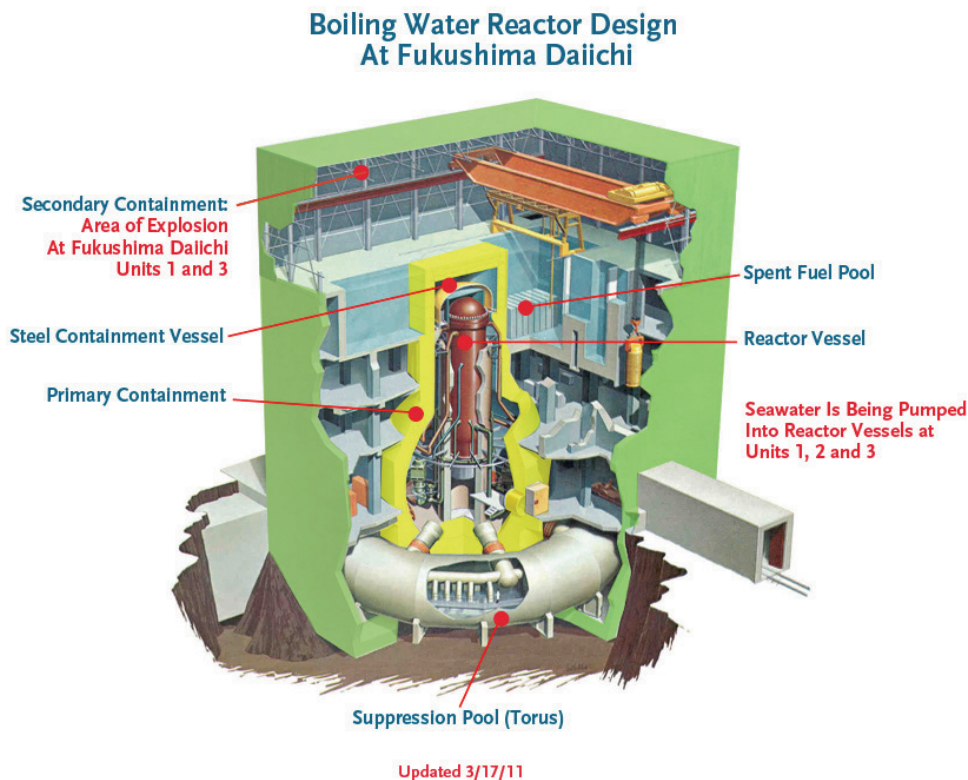
## 3.2 Fukushima ulykken

D. 11. marts indtraf det største jordskælv, der hidtil er blevet registreret i Japan, i havet ud for Japans største ø, Honshu, hvor også Tokyo ligger. Jordskælvet havde en styrke på Richter-skalaen på 9, og det var ledsaget af en Tsunami-flodbølge på op til ca. 20 meters højde ved den japanske kyst.

Jordskælvet ramte det japanske kernekraftværk Fukushima Daiichi (Fukushima-1). Værket består af seks BWR enheder. Enhed 1 har en elektrisk effekt på 439 MWe, enhederne 2, 3, 4 og 5 har en effekt på hver 760 MWe og enhed 6 har en effekt på 1067 MWe. Da jordskælvet indtraf, var kun enhederne 1, 2 og 3 i drift, mens de øvrige var nedlukket pga. vedligeholdelse. Som følge heraf var brændslet fra enhed 4 overført til bassinet for opbevaring af udbrændt brændsel. Enhederne 5 og 6 havde stadig brændsel i reaktorerne.

Enhederne var beregnet til i tilfælde af et jordskælv at kunne modstå en acceleration af undergrunden under værket på ca.  $600 \text{ cm/s}^2$ , mens accelerationen ved jordskælvet den 11/3 var ca.  $550 \text{ cm/s}^2$ . Endvidere var værket beregnet til at kunne modstå en tsunami på ca. 6,5 meters højde, mens tsunamien den 11/3 var på over 14 meter ved Fukushima-værket, og det var denne, der forårsagede de største ødelæggelser.

Jordskælvet medførte, at de tre idriftværende reaktorer straks lukkede ned ved indførelse af kontrolstavene i reaktorkernen, og generatorerne til nødkølepumperne startede. En lille time senere rammes værket af tsunamien, som ødelagde generatorerne til nødkølesystemerne, bortset fra en af generatorerne til enhed 6. Denne var i stand til at forsyne nødkølesystemerne for enhed 5 og 6 med el, og reaktorerne i enhed 5 og 6 blev derfor holdt i kold, nedlukket tilstand uden yderlige problemer. De øvrige enheder var herefter uden el-forsyning, idet tsunamien også havde ødelagt værkets højspændingsforbindelser til det japanske net. Forbindelsen til nettet blev først genoprettet omkring den 25/3.



Figur 3.1. Design af Fukushima reaktorerne 1-5.

Da kontrolstavene blev ført ind, standsede kædereaktionen i enhed 1, 2 og 3, og dermed ophørte størsteparten af energiproduktionen. Tilbage var imidlertid eftervarmen, som skyldes de radioaktive henfald af de ved kernespaltningerne dannede nye atomkerner, fissionsprodukterne, hvis henfaldsenergi afsættes som varme i brændslet. Denne energiproduktion er umiddelbart efter reaktornedlukning ca. 6% af reaktorernes energiproduktion før nedlukningen, og efter et døgn er den faldet til 1% af energiproduktionen før nedlukningen.

Umiddelbart efter nedlukningen var vandniveauet i reaktorerne en del højere end reaktorkernens top, d.v.s. at brændslet var omgivet af vand, og eftervarmen kunne fjernes ved kogning af vandet. Det betød et øget tryk i reaktortanken, hvilket fik sikkerhedsventilerne til at åbne sig og damp til at strømme ud i reaktorindeslutningen. Det betød også, at vandniveauet i reaktortanken sank, og da det nåede ned under brændselsstavens top, blev kølingen af disse væsentlig forringet. Det betød igen, at brændselsstavens temperatur steg. Brændselsstavene er indkapslet i metallet zirkonium. Når dette bliver tilstrækkelig varmt (800-900 °C), vil zirkonium reagere med vand, hvorved der dannes brint og zirkoniumoxyd. Processen er eksoterm, så den vil forstærke sig selv, når den først er startet. Endvidere begyndte brændslet at smelte, hvorved der blev frigivet fissionsprodukter, som sammen med damp og brint kom ud i reaktorindeslutningen, og senere, da trykket her blev for stort, reducerede man dette ved at slippe damp med brint og fissionsprodukter, især cæsium-134, cæsium-137 og jod-131, ud igennem en filtreret skorsten hørende til ventilationssystemet. Imidlertid var der opstået utætheder i ventilationskanalerne til skorstenen, således at en del af brinten og fissionsprodukterne samlede sig i reaktorbygningen med mulighed for brinteksplosion.

Det menes, at ca. 20 timer efter reaktornedlukningen havde den smeltede reaktorkerne smeltet små huller i bunden af reaktortanken. Det var oprindeligt planlagt at fylde reaktorindeslutningen med vand og herigennem køle reaktortanken og dens indhold. Dette er nu opgivet, og i stedet planlægger man at pumpe vand fra reaktorindeslutningen gennem en varmeveksler og tilbage til reaktortanken efter at det er blevet filtreret.

For igen at få brændslet kølet, fik man trods problemer med ødelagte veje, broer m.m. fremskaffet pumper og dieselgeneratorer, hvormed man kunne pumpe vand ind i enhed 1, 2 og 3's reaktortanke. Oprindeligt var det havvand, der blev pumpet ind, senere var det ferskvand. Indpumpningen af vand begyndte d. 12/3 i enhed 1, d. 13/3 i enhed 3 og d. 14/3 i enhed 2. Indpumpningen af vand i de tre enheder resulterede i, at der opsamledes store mængder af radioaktivt vand i kælderens under turbinebygningen. For at få opbevaringsplads til disse mængder, tømte man delvis fyldte opbevaringstanke med svagt radioaktivt vand ud i Stillehavet.

Udslippet af damp m.m. fra reaktorindeslutningen til reaktorbygningen medførte, at der kom brint ud i reaktorbygningen. Det medførte igen, at der d. 12/3 indtraf en brinteksplosion i enhed 1, som medførte, at reaktorbygningen blev alvorligt beskadiget. I enhed 3 indtraf der d. 14/3 og i enhed 4 d. 15/3 en brinteksplosion, der beskadigede reaktorbygningerne alvorligt. Eksplosionen i enhed 4 skyldtes formentlig, at brint var sluppet fra enhed 3 over til enhed 4, idet enhed 4 jo ikke indeholdt brændsel i reaktortanken. Endelig var der d. 15/3 en eksplosion, formentlig en brinteksplosion, i enhed 2's reaktorindeslutning, der ikke beskadigede reaktorbygningen alvorligt. Årsagen hertil menes at være, at eksplosionen skete i reaktorindeslutningen, og at eksplosionen i enhed 3 havde slået et hul i siden på enhed 2's reaktorbygning, gennem hvilket eksplosionens overtryk blev reduceret. Ved enhed 5 og 6 lavede man for en sikkerhedsskyld huller i toppen af reaktorbygningen således, at en eventuel brintproduktion let kunne slippe ud af reaktorbygningen. Brinteksplosionerne medførte ikke alene ødelæggelser på enhederne, men bidrog også til at sprede radioaktivt materiale.



En brinteksplosion i reaktorindeslutningen burde ikke kunne forekomme, idet man her opretholder en kvælstofatmosfære, men på grund af utætheder i indeslutningen på enhed 2 kan der muligvis være kommet luft (ilt) ind i indeslutningen. Efter uheldet har man fortsat med at pumpe kvælstof ind i reaktorindeslutningerne.

Det var ikke kun brændslet i reaktortanken, der skulle sikres køling. Det samme gjaldt de brændselementer, der befandt sig i reaktorernes bassiner for udbrændt brændsel. Der var 292 elementer i bassinet ved enhed 1, 587 elementer ved enhed 2 514 elementer ved enhed 3 og 1331 elementer ved enhed 4. Da såvel bassinernes ordinære kølesystem som deres nødkølesystem var sat ud af drift, blev vandet i bassinerne gradvis varmet op, fordampningen øget, og dette medførte et fald i vandstanden. For at kompensere herfor sprøjtede man med brandbiler vand op i bassinerne. Det gik ikke mindst enhed 4's bassin med det meget store antal elementer. Bassinerne befinder sig uden for reaktorindeslutningen.

Indpumpningen af vand i reaktortanken har medført, at der har samlet sig store mængder radioaktivt vand i kælderen under turbinebygningen. Disse vil blive overført til tanke i og udenfor reaktorsystemet. Det radioaktive vand vanskeliggør arbejdet med at retablere kølesystemerne.

Ikke mindst brinteksplosionerne har bidraget til, at der blev frigivet radioaktive stoffer til omgivelserne. For at begrænse yderligere spredning af dette ved resuspension (fugning) har man sprøjtet et organisk bindemateriale på jorden omkring værket.

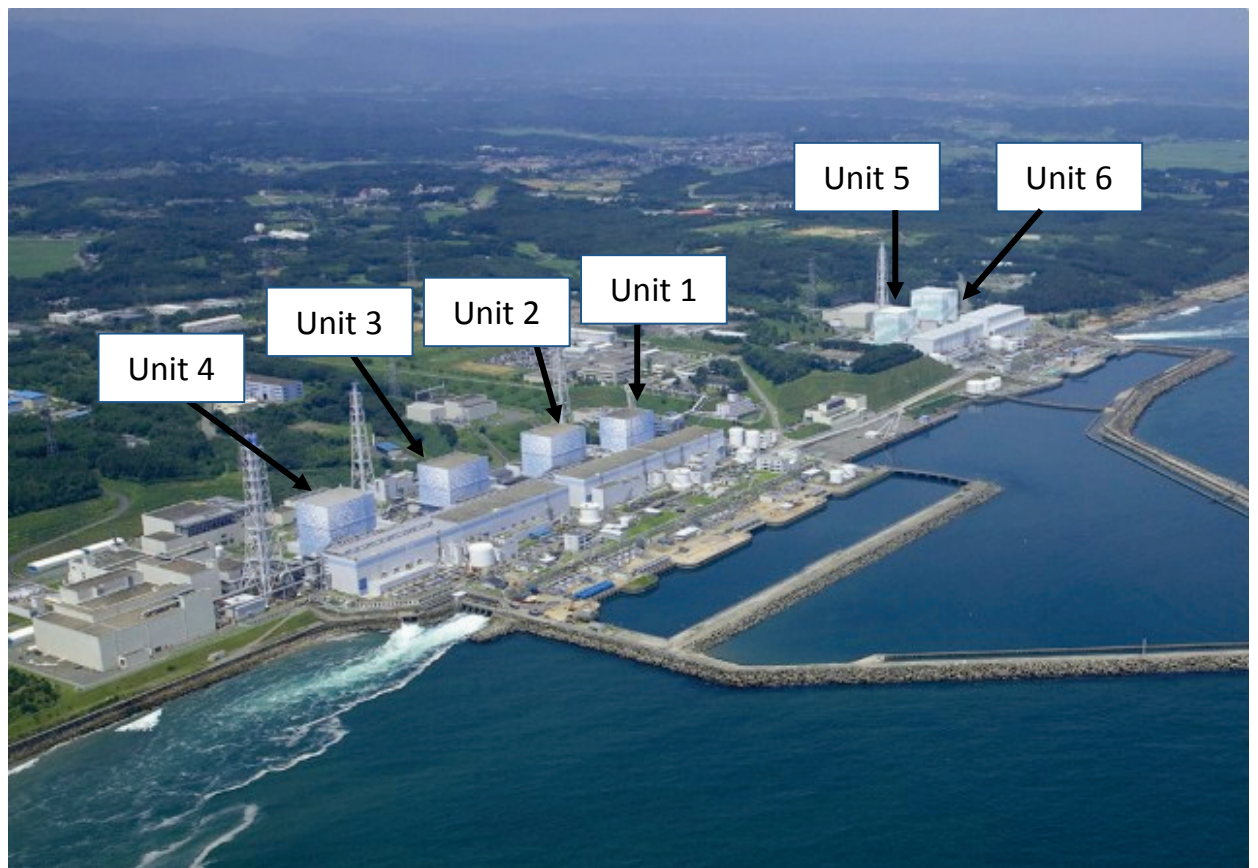
Reaktorerne er endnu ikke i en langtidsstabil, nedkølet tilstand, og et nyt voldsomt jordskælv kan forværre forholdene. Det skal dog nævnes, at der efterfølgende har været nye jordskælv med en styrke på over 6 på Richterskalaen, som ikke har givet anledning til væsentlige problemer for enhederne.

På længere sigt er det nødvendigt, at såvel reaktortanke som brændselsbassiner køles ved cirkulering af vandet gennem en varmeveksler. Det forventes, at et sådant arrangement for Fukushima-værket vil være opnået sidst på året.

Uheldet har givet anledning til udslip af radioaktive stoffer, især ædelgasser og de flygtige fissionsprodukter iod og cæsium, hvilket har øget strålingsniveauet i området. Før uheldet var dette ca. 0,04 µSv/time. Efter uheldet er det nær værket steget til 3,5 mSv/time (d. 27/4). Der er også omkring værket "hot-spots" med højere strålingsniveau p.g.a. spredning af radioaktivt materiale ved brinteksplosionerne.

Umiddelbart efter uheldet med Fukushima Daiichi værket besluttede de lokale myndigheder, at den befolkning, der boede nærmere end 2 km fra værket (1864 personer) skulle evakueres. Lidt senere besluttede den japanske regering, at folk, der boede nærmere end 3 km fra Fukushima-1 skulle evakueres, mens de, der boede mellem 3 og 10 km fra værket skulle holde sig inden døre. Den 13/3 besluttede den japanske regering, at befolkningen inden for en radius af 20 km skulle evakueres, mens befolkningen i området mellem 20 og 30 km fra Fukushima-1 skulle holde sig indendørs. Senere blev beboerne i 20 til 30 km zonen opfordret til frivillig evakuering.

Oprindelig klassificerede de japanske myndigheder uheldet på Fukushima værket som en niveau-4 ulykke på den internationale INES-skala. Senere blev klassifikationen øget til niveau 5, og endelig d. 12/4 til niveau 7, d.v.s. samme kategori som Tjernobyl-ulykken.

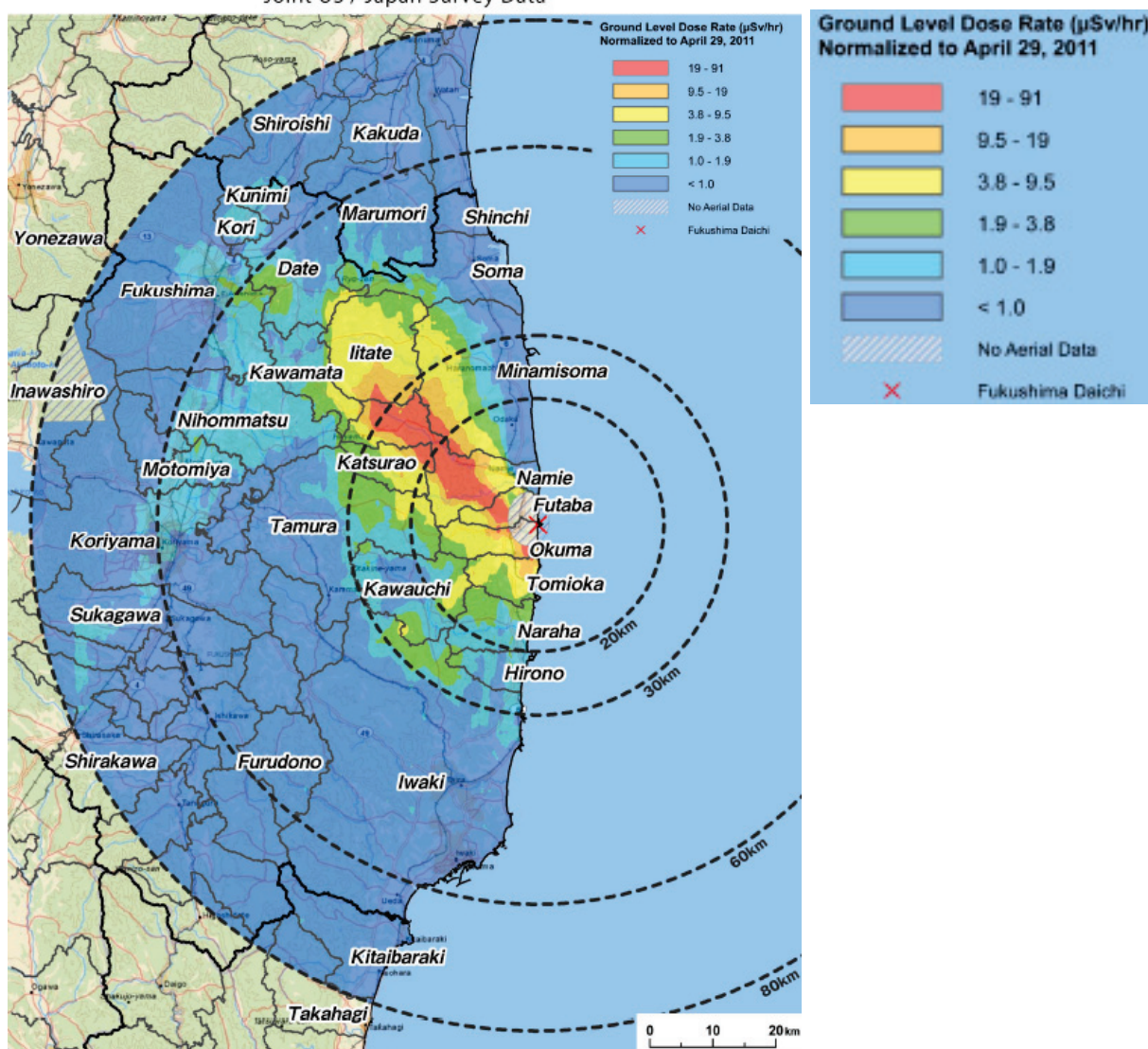


Figur 3.2. Øverst: De seks enheder på Fukushima Daiichi værket inden ulykken. Nederst: Enhed 1-4 på værket. Reaktorbygningerne på enhed 1 (delvist skjult), 3 og 4 er stærkt beskadigede af brinteksplosioner, mens reaktorbygningen på enhed 2 fremstår intakt. Den røde firkant markerer en brønd med stærkt radioaktivt vand.



# Aerial Measuring Results

Joint US / Japan Survey Data



Figur 3.3. Strålingsniveauet i Fukushima-regionen den 29. april 2011.

### 3.3 Internationale forhold og konflikter

#### *Burma/Myanmar*

Det forlyder, at Burma/Myanmar er ved at forberede anskaffelsen af kernevåben med nordkoreansk bistand. Såvel reaktorproduktion af plutonium som uranberigning hævdes at være under overvejelse. Landets ledelse, militærjuntaen, afviser disse forlydender.

#### *Iran*

Iran har fortsat sit arbejde på landets tre berigningsanlæg, Pilot Fuel Enrichment Plant (PFEP) og Fuel Enrichment Plant (FEP) ved Natanz samt Fordow Fuel Enrichment Plant (FFEP) ved Qom. Endvidere har Iran angivet, at man planlægger at bygge 10 nye berigningsanlæg. Baggrunden for disse er formentlig, at det med så mange berigningsanlæg vil være vanskeligere for udenlandske magter at ødelægge alle Irans berigningsanlæg med militære midler. Ifølge Iran er anlæggene beregnet til produktion af beriget uran til forskningsreaktorer, bl.a. med henblik på at fremstille medicinske isotoper, men berigningsanlæggene vil også kunne benyttes til fremstilling af højt beriget uran til atomvåben.

FEP består af to haller, hal A og hal B. Der er planlagt otte berigningsenheder med hver 18 kaskader á 164-174 centrifuger i hal A, d.v.s. i alt ca. 24.000 centrifuger, alle IR-1 centrifuger. Ved udgangen af 2010 var ca. 8800 af centrifugerne i drift, og der er siden FEP's start i 2007 produceret ca. 3200 kg lavt beriget uran. Der er ikke hidtil sket nogen installation af centrifuger i hal B.

PFEP er et forsøgsanlæg, hvor nye centrifuger, IR-4 og IR-2m, udvikles. Endvidere har man i PFEP begyndt en produktion af 20% beriget uran til brug ved fremstilling af brændsel til Tehran Research Reactor (TRR). I alt er ca. 33 kg 19,89% beriget uran produceret her.

FFEP-anlægget nær Qom er planlagt til at producere op til 5% beriget uran. Anlægget skal have ialt 16 kaskader med ca. 3000 centrifuger.

Iran har i Esfahan sin såkaldte Uranium Conversion Facility, hvor en række kemiske omdannelser af den uran, som kommer fra landets uranminer, foregår. Der produceres  $UF_6$  til brug i berigningsanlæggene, og  $UO_2$  til brug ved fremstilling af brændselelementerne til den 40 MW tungtvands-forsøgsreaktor, IR-40, som er under opførelse ved Arak. Endvidere planlægges produktion af metallisk uran ud fra  $UF_4$ , og produktion af  $UF_4$  ud fra  $UF_6$ .

Ved Arak har Iran et anlæg til produktion af tungt vand til IR-40 reaktoren.

IAEA inspicerer med jævne mellemrum disse anlæg, bortset fra tungtvands-produktionsanlægget. Inspektionerne giver anledning til gnidninger mellem IAEA og Iran, idet IAEA mener, at der gælder en inspektionsaftale, som blev indgået, da Iran i 2003 gav IAEA information om sine nye anlæg, mens Iran finder, at denne aftale, som Iran frivilligt indgik, ikke mere gælder, efter at IAEA sendte Iran-sagen videre til FNs Sikkerhedsråd. Herefter vil Iran kun acceptere den kontrolaftale, som blev indgået efter, at landets tiltrådte ikke-spredningstraktaten.

Der har været forsøg at få forhandlinger i gang mellem P5+1-landene (USA, Rusland, Kina, UK og Frankrig samt Tyskland) og Iran, men disse forhandlinger er ikke hidtil blevet til noget. Der har også været forslag fremme om, at Iran skulle levere en betydelig mængde lavt beriget uran til udlandet, der skulle videre-berige dette til 20% til brug for fremstilling af brændsel til TRR. Men efter, at Iran selv kan producere 20% beriget uran, har der ikke været den store interesse for dette forslag.

### ***Nordkorea***

I januar 2010 meddelte Nordkorea, at man var villig til fortsætte seks-lande-forhandlingerne om at gøre den koreanske halvø til et kernevåbenfri område forudsat, at alle sanktioner mod Nordkorea blev ophævet. Dette krav blev afvist fra amerikansk side. Fra vestlig side har man forsøgt at skærpe de internationale sanktioner mod Nordkorea, men det har Kina og Rusland ikke villet acceptere. Efter det nordkoreanske artilleriangreb på en sydkoreansk ø i novemner foreslog Kina, at man indledte nye forhandlinger med Nordkorea. Forslaget blev afvist af såvel Sydkorea, Japan og USA, idet nye forhandlinger forudsætter en mere fredelig nordkoreansk adfærd. Et permanent problem i forbindelse med forhandlinger med Nordkorea er, at landet ved sådanne flere gange har indgået aftaler, som det så kort efter har brudt.

Nordkorea har tilkendegivet, at det har et centrifugeberigningsanlæg i Yongbyon forsøgsanlægget med 2000 centrifuger. I følge Nordkorea skal det berigede uran bruges til fremstilling af brændsel til en 25-30 MWe letvands-kraftreaktor, som er under opførelse. Centrifugeteknologien har Nordkorea utvivlsomt fået fra A.Q. Khans pakistanske netværk.

### ***Pakistan***

Pakistan har kontraheret med Kina om levering af en femte kernekraftenhed til landet. Pakistan har ikke ratificeret ikke-spredningsaftalen og har heller ikke IAEA-kontrol af alle sine nukleare faciliteter. Kinas indgåelse af handelen er derfor ikke i overensstemmelse med FN's ikke-spredningsaftale. Det forhold, at USA har lavet en aftale med Indien, der tillader eksport af amerikanske kernekraftenheder til landet, selv om Indien er i samme situation som Pakistan, gør imidlertid, at USA står svagt, såfremt handelen kommer til diskussion i Nuclear Suppliers Group.

### ***IAEA***

IAEAs Board of Governors har vedtaget at oprette en brændselsbank, der skal sikre, at medlemslande kan få leveret lavt beriget uran til deres kraftreaktorer, såfremt den sædvanlige brændselsforsyning afbrydes f.eks. af politiske grunde. Oprettelsen af brændselsbanken vil kræve 150 mio. USD, hvoraf der er givet tilsagn om 107 mio. USD. Rusland har oprettet et lager med lavt beriget uran ved Angarsk i Sydøstsibirien, som er stillet til IAEAs rådighed.

I IAEA er der bestræbelser i gang på at lave en generel konvention for ansvaret på tredje person ved nukleare ulykker. Der findes i dag flere konventioner: Paris-konventionen, Wien-konventionen og Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage, foruden nationale love. Almindeligvis tillægges ansvaret for skader på tredje person (personer, der intet har med det nukleare anlæg at gøre) på operatøren af de nukleare anlæg, men en nylig vedtaget indisk lov åbner mulighed for også at lægge ansvar på anlægsleverandøren.

IAEA har indledt arbejde på at sikre, at behandlingen af radioaktivt affald sker efter de samme normer i alle medlemslande.

# APPENDIKS A: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg

På foranledning af IAEA og OECD/NEA blev der i 1990 udviklet en skala til angivelse af den sikkerhedsmæssige betydning af uheld på nukleare anlæg og uheld ved transport af radioaktivt materiale.

Skalaen betegnes INES, International Nuclear Event Scale, og omfatter otte uheldsklasser, fra klasse 0 til 7 (se figuren). Hændelser, der ikke har nogen sikkerhedsmæssig betydning, placeres i klasse 0, mens alvorlige ulykker med udslip af store mængder radioaktivt materiale hører til klasse 7.

Uheldsklassen bestemmes ud fra tre kriterier:

- Påvirkning af omgivelserne
- Påvirkning af anlægget
- Degradering af dybdeforsvaret (anlæggets sikkerhedssystem).

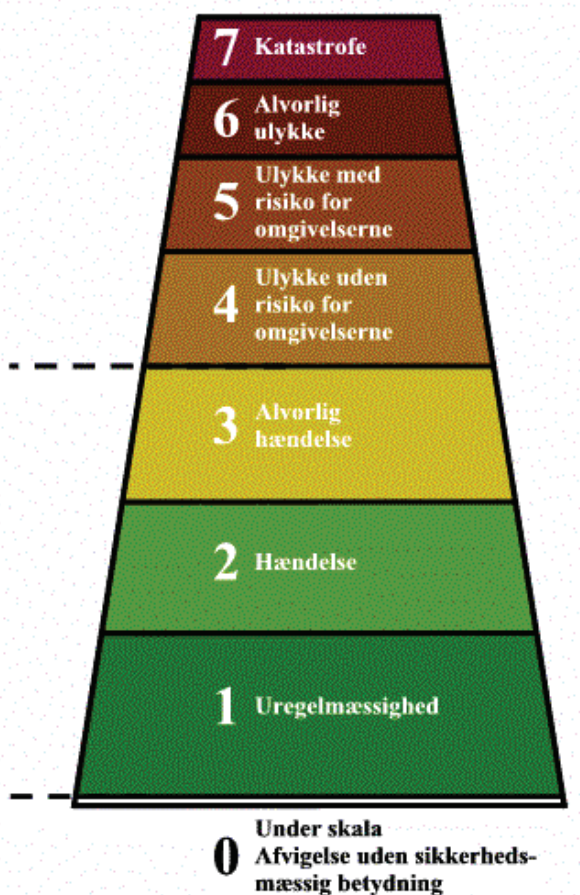
Uheld med påvirkning af omgivelserne ved udslip af radioaktivt materiale er det mest alvorlige kriterium og dækker klasse 3 til 7. Uheld, hvor der udelukkende sker en påvirkning af anlægget, f.eks. skader

på reaktorkernen eller bestråling af personale, placeres i klasse 2 til 5. Det sidste kriterium, degradering af et anlægs dybdeforsvar, betyder, at en eller flere sikkerhedsbarrierer (tekniske/menneskelige) svigter. Uheld, hvor sikkerhedsbarrierer påvirkes, betegnes som hændelser og rubriceres fra klasse 1 til 3. Af de tre kriterier vil det, der giver den højeste klasse for uheldet, være det afgørende kriterium.

I alt 60 lande har i dag tilsluttet sig INES-systemet. Kort efter en hændelse skal ejeren af anlægget efter samråd med det pågældende lands sikkerhedsmyndighed beskrive hændelsen med angivelse af en (evt. foreløbig) INES-klasse. IAEA informerer derefter de lande, der har tilsluttet sig systemet, om den indtrufne hændelse og klassificering. Sikkerhedsmyndigheden kan efter behov efterfølgende korrigere klassificeringen, hvis myndigheden ved nærmere analyse finder en anden klasse mere korrekt.

## Eksempler på INES-klassifikation

- INES-7: Tjernobyl, 1986. Havariet af Tjernobyl-4 reaktoren i Ukraine førte til omfattende påvirkninger af mennesker og miljø.
- INES-6: Kyshtym, 1957. En eksplosion på oparbejdningsanlægget i Kyshtym i Rusland medførte at store mængder radioaktivt affald blev spredt til omgivelserne.
- INES-5: Three Mile Island, 1979. Ulykken på kernekraftværket i Pennsylvania medførte en nedsmeltning af reaktorkernen, mens påvirkningen af omgivelserne var meget begrænset.



- INES-4: Tokai Mura, 1999. Kritikalitetsulykken på brændselsfabrikken Tokai Mura i Japan medførte en kraftig bestråling af personale.
- INES-3: Studsvik, 2002. En forsendelse af radioaktivt materiale fra Studsvik i Sverige til USA viste sig at have et stærkt forhøjet strålingsniveau uden for beholderen.

### Kriterier for klassifikation af ulykker efter INES-skalaen

Trin/ Betegnelse	Begivenhed
<b>7 Katastrofe</b>	Udslip til omgivelserne af en stor del af det radioaktive materiale i et stort anlæg, f.eks. reaktorkernen på et kernekraftværk. Udslippet vil bestå af en blanding af kort- og langlivede radioaktive fissionsprodukter og kan føre til akutte stråleskader, sene stråleskader i et større område samt medføre alvorlige miljøkonsekvenser.
<b>6 Alvorlig ulykke</b>	Udslip til omgivelserne af radioaktivt materiale. Udslippet vil typisk kræve fuld iværksættelse af modforholdsregler for at modvirke alvorlige stråleskader.
<b>5 Ulykke med risiko for omgivelserne</b>	Udslip til omgivelserne af begrænsede mængder radioaktivt materiale. Udslippet vil typisk kræve delvis iværksættelse af modforholdsregler for at mindske sandsynligheden for stråleskader. Alvorlig skade på det nukleare anlæg, f.eks. skade på en stor del af en reaktorkerne, et stort kritikalitetsuheld, eller en brand, hvor større mængder radioaktivt materiale frigives inden for anlægget.
<b>4 Ulykke uden risiko for omgivelserne</b>	Udslip til omgivelserne af mindre mængder radioaktivt materiale, resulterende i strålingsdoser til de mest udsatte personer på nogle få millisievert (mSv). Udslippet kræver næppe iværksættelse af modforholdsregler, bortset fra eventuel lokal fødevarekontrol. Større skader på et kernekraftværk, f.eks. en delvis kernenedsmeltning, eller tilsvarende hændelser på andre nukleare anlæg. Bestråling af en eller flere arbejdere på anlægget, som medfører en stor sandsynlighed for dødsfald.
<b>3 Alvorlig hændelse</b>	Radioaktivt udslip til omgivelserne ud over de tilladte værdier, resulterende i strålingsdoser til de mest udsatte personer udenfor anlægget på nogle tiendedele af en millisievert. Udslippet vil muligvis ikke nødvendiggøre iværksættelse af modforholdsregler. Hændelse, hvor strålingsdoser til en eller flere arbejdere på anlægget kan føre til akutte stråleskader; og hændelse som resulterer i en alvorlig radioaktiv forurening af et område indenfor anlægget. Hændelse med store svigt i sikkerhedssystemet, hvor yderligere svigt af sikkerhedssystemet kan føre til en ulykke.
<b>2 Hændelse</b>	Hændelse med store svigt i sikkerhedsforholdene, men med tilstrækkelig dybdeforsvar tilbage til at modstå yderligere svigt. Hændelse hvor en eller flere arbejdere får en strålingsdosis, der overskrider den tilladte årlige grænseværdi; og hændelse som resulterer i en betydende radioaktiv forurening i dele af anlægget.
<b>1 Uregelmæssighed</b>	Hændelse, hvor betingelserne for drift overskrides, f.eks. ved afvigelse fra tekniske specifikationer eller brud på transportregulativer, men hvor dybdeforsvaret fortsat er betydeligt.

## APPENDIKS B: Internationale organisationer

### *EURATOM*

EURATOM-traktaten er en af EU's oprindelige traktater. Hovedelementerne i traktaten er strålingsbeskyttelse af såvel arbejdstagere som befolkningen i almindelighed, forsyning med fissile materialer, sikring af sådanne materialer mod misbrug til uautoriserede formål (safeguards) og generelle aspekter som forskning og formidling af information. Sikkerhed ved drift af nukleare anlæg og håndtering af radioaktivt affald har primært været nationale anliggender med internationalt samarbejde omkring standardisering og "best practice" m.m. I de senere år har kommissionen imidlertid også taget initiativer på disse områder, f.eks. har den i 2003 foreslået direktiver vedr. sikkerhed ved nukleare anlæg og håndtering af radioaktivt affald.

<http://euratom.org>

### *IAEA*

International Atomic Energy Agency (IAEA) er en international organisation under FN, som har til formål at fremme det internationale videnskabelige og teknologiske samarbejde om den fredelige udnyttelse af nuklear teknologi, herunder kernekraft-teknologi. Organisationen blev grundlagt i 1957 som en kulmination af de internationale bestræbelser for at følge op på Præsident Eisenhowers "Atoms for Peace"-program fra 1953. Med udgangen af 2006 havde organisationen 144 medlemsstater og der var indgået safeguard-aftaler med 156 lande.

IAEA formidler overførsel af nuklear teknologi og viden på området til udviklingslandene. IAEA udvikler standarder inden for nuklear sikkerhed og arbejder derigennem på at opnå og vedligeholde et højt niveau for sikkerheden ved nuklear energiproduktion og for beskyttelsen af mennesker og miljø mod de skadelige virkninger af ioniserende stråling. Som et led i ikke-spredningsaftalen (NPT) overvåger IAEA, at de nukleare anlæg og materialer, som medlemsstaterne har tilmeldt IAEA's inspektionssystem, kun anvendes til fredelige formål.

IAEA har hovedkvarter i Wien, Østrig, hvor der er ansat ca. 2300 medarbejdere.

[www.iaea.org](http://www.iaea.org)

[www.iaea.org/programmes/a2/index.html](http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html): IAEA's Nuclear Power Reactor Information System (PRIS), med data om verdens kernekraftværker mv.

[www-news.iaea.org/news](http://www-news.iaea.org/news): IAEA's Nuclear Events Web-based System, med information om INES-hændelser.

### *OECD/NEA*

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) er udsprunget af Organisation for European Economic Co-operation (OEEC), som blev oprettet for at administrere Marshall-planen for den europæiske genopbygning efter 2. verdenskrig. OECD har i dag 30 medlemslande, der alle bekender sig til en demokratisk styreform og markedsøkonomi. OECD's opgave er at støtte medlemslandenes økonomiske og administrative udvikling og fremme samarbejdet mellem landene inden for økonomi, uddannelse, teknologi og forskning m.m. Nuclear Energy Agency (NEA) er en organisation inden for OECD. NEA's formål er at støtte medlemslandenes fortsatte udvikling af det videnskabelige, teknologiske og lovgivningsmæssige grundlag for en sikker, miljøvenlig og økonomisk udnyttelse af kerneenergien til fredelige formål. NEA har et tæt samarbejde med EU-



kommissionen og en samarbejdsaftale med IAEA. NEA samarbejder også med ikke-medlemslande i Central- og Østeuropa. NEA har i dag 28 medlemslande.

NEA støtter en række samarbejdsprojekter medlemslandene imellem vedrørende nuklear sikkerhed, strålingsbeskyttelse, håndtering af radioaktivt affald og dekommissionering m.m. NEA har sit hovedsæde i Paris, Frankrig. Arbejdet er organiseret i en række komitéer med deltagelse af mere end 500 eksperter fra medlemslandene.

[www.nea.fr](http://www.nea.fr)

### **UNSCEAR**

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) er en videnskabelig komite under FN. Den blev etableret i 1955 som reaktion på de atmosfæriske prøvesprængninger af nukleare våben og det medfølgende globale radioaktive nedfald. Det er komiteens opgave at indsamle og evaluere information om niveauerne af ioniserende stråling og radioaktivitet stammende fra både menneskeskabte og naturlige kilder og at studere de mulige virkninger på mennesker og miljø.

UNSCEAR består af videnskabsmænd fra 21 medlemslande. Danmark er ikke medlem. De 21 medlemslande har hver én repræsentant i komiteen. Komiteen og sekretariatet arbejder sammen med videnskabsmænd over hele verden for at etablere databaser over eksponeringer til ioniserende stråling og information om eksponeringernes virkning. UNSCEAR's hovedsæde ligger i Wien.

[www.unscear.org](http://www.unscear.org)

### **WANO**

The World Association of Nuclear Operators (WANO) er en global forening af alle selskaber, der driver kernekraftværker. WANO formidler samarbejde og udveksling af driftserfaringer mellem operatørerne med det formål at opnå den højest mulige sikkerhed og pålidelighed for kernekraftværkerne.

[www.wano.org.uk](http://www.wano.org.uk)

### **WENRA**

Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA) er en sammenslutning af lederne af en række vesteuropæiske landes nukleare tilsynsmyndigheder. Sammenslutningen omfatter Belgien, Bulgarien, Finland, Frankrig, Holland, Italien, Litauen, Rumænien, Schweiz, Slovakiet, Slovenien, Spanien, Storbritannien, Sverige, Tjekkiet, Tyskland og Ungarn. Sammenslutningens formål er at udvikle en fælles tilgang til kernekraftsikkerhed med hovedvægten på EU-området.

[www.wenra.org](http://www.wenra.org)

### **WNA**

The World Nuclear Association (WNA) er en global samarbejdsorganisation for industrivirksomheder, der arbejder inden for den nukleare industri, omfattende kernekraftværker og alle aspekter af brændselskredsløbet. WNA's formål er at være det globale forum for den nukleare industri og at informere om nukleare spørgsmål.

[www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)

## Nordiske myndigheder

### *Beredskabsstyrelsen, Danmark*

[www.brs.dk](http://www.brs.dk)

[www.brs.dk/nuc/default.asp](http://www.brs.dk/nuc/default.asp): Beredskabsstyrelsens Nukleare Kontor; oplysninger om det danske atomberedskab.

[www.info.nucinfo.dk/denmark](http://www.info.nucinfo.dk/denmark): Nucinfo, Beredskabsstyrelsens informationsværktøj vedrørende nukleare forhold.

### *Statens Institut for Strålebeskyttelse (SIS), Danmark*

[www.sis.dk](http://www.sis.dk)

### *Geislavarnir Ríkisins, Island*

[www.gr.is](http://www.gr.is)

### *Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), Finland*

[www.stuk.fi](http://www.stuk.fi)

### *Statens Strålevern, Norge*

[www.nrpa.no](http://www.nrpa.no)

### *Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM), Sverige*

[www.stralsakerhetsmyndigheten.se](http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se)

## APPENDIKS C: Anvendte forkortelser

ABWR	Advanced Boiling Water Reactor, den avancerede kogendevandsreaktor
ACR	Advanced CANDU Reactor, tungtvandsmodereret reaktor med letvandskøling og svagt beriget uran
ADS	Accelerator Driven System
AECL	Atomic Energy of Canada Ltd
AGR	Advanced Gas-cooled Reactor, den engelske, avancerede gaskølede reaktor
AHWR	Advanced Heavy Water Reactor, indisk udviklet tungtvandsreaktor
ALLEGRO	Prototype gaskølet hurtigreaktor
ATMEA-1	Reaktor under udvikling af Areva og Mitsubishi Heavy Industries
AP-1000	Westinghouse's Advanced Power reactor (PWR) på 1000 MWe
APR-1400	Advanced Pressurized Reactor, sydkoreansk trykvandsreaktor på 1400 MWe
APWR	Advanced Pressurized Water Reactor
ARGOS	Accident Reporting and Guiding Operational System, Beredskabsstyrelsens beslutningsstøtteprogram
ASE	Atomstroyexport, russisk firma, der eksporterer kernekraftværker
ASTRID	Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration, prototype natriumkølet hurtigreaktor
ATEL	Schweizisk elforsyningselskab
BN	Hurtig reaktor (russisk)
BREST	Russisk blykølet hurtigreaktor
BRS	Beredskabsstyrelsen
BWR	Boiling Water Reactor, kogendevandsreaktor
CANDU	Canadian Deuterium Uranium, den canadiske tungtvandsreaktor af trykrørstypen
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, fransk statslig atomenergikommission
CFHI	China First Heavy Industries
CGNPC	China Guangdong Nuclear Power Company, kinesisk kernekraftselskab
CNNC	China National Nuclear Corporation, kinesisk kernekraftselskab
CNP-600	China Nuclear Plant 600, kinesisk 600 MWe PWR enhed
COL	Construction and Operation Licence, kombineret amerikansk byggedriftstilladelse
CPR-1000	Kinesisk udviklet trykvandsreaktor
DTU	Danmarks Tekniske Universitet
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development, den europæiske udviklingsbank for Central- og Østeuropa
EdF	Electricité de France, det franske, statslige el-selskab
EPG-6	Lille russisk reaktor af RBMK typen
EPR	European Pressurized Reactor, trykvandsreaktor udviklet i et samarbejde mellem Framatome og Siemens
ESBWR	Economic Simplified Boiling Water Reactor, økonomisk, forenklet kogendevandsreaktor
ESP	Early Site Permit, forhåndsgodkendelse i USA af arealer til bygning af kernekraftenheder
EU	Den Europæiske Union
EURATOM	EU-traktat om nukleare forhold
FAE	De Forenede Arabiske Emirater
FEP	Fuel Enrichment Plant, iransk berigningsanlæg
FFEP	Fordow Fuel Enrichment Plant, iransk berigningsanlæg

FBR	Fast Breeder Reactor, hurtig formeringsreaktor
GCC	Gulf Cooperation Council, samarbejdsorgan for lande på den arabiske halvø
GCR	Gas Cooled Reactor, gaskølet reaktor
GIF	Generation IV Forum, samarbejdsorganisation vedrørende 4. generations reaktorer
GFR	Gas cooled Fast Reactor, gaskølet hurtigreaktor
GNEP	Global Nuclear Energy Partnership, USA ledet samarbejde om etablering af internationale brændselscentre
GWe	Gigawatt elektrisk
IAEA	International Atomic Energy Agency, FN's atomenergiagentur
IEA	International Energy Agency, OECEs energiagentur
INES	International Nuclear Event Scale, IAEA's skala for radiologiske og nukleare uheld
IPR	Intellectual Property Rights
JAEC	Den jordske atomenergikommission
JSFR	Japanese Sodium Fast Reactor, japansk hurtigreaktor
KEPCO	Korea Electric Power Corporation, sydkoreansk elselskab
KHNP	Korea Hydro & Nuclear Power Company, sydkoreansk elselskab
kWh	Kilowatttime
LFR	Lead cooled Fast Reactor, blykølet hurtigreaktor
LWR	Light Water Reactor (BWR og PWR)
MBIR	Russisk multi-formåls hurtigreaktor
MeV	Megaelektronvolt
MHI	Mitsubishi Heavy Industries, japansk reaktorfirma
MOX	Mixed OXide fuel, reaktorbrændsel fremstillet af en blanding af plutonium- og urandioxid
MSR	Molten Salt Reactor, reaktor med flydende brændsel
MWe	Megawatt elektrisk
MYRRHA	Multi-purpose hybrid research reactor for high-tech applications, belgisk hybrid ADS-LFR reaktor
NDA	Nuclear Decommissioning Authority, britisk tilsynsmyndighed for dekommissionering
NEA	Nuclear Energy Agency, OECD's kerneenergiorganisation
NEK	Bulgarsk statsligt el-selskab
NPCIL	Nuclear Power Corporation of India Ltd, indisk kernekraftselskab
NPT	Non Proliferation Treaty, ikke-spredningsaftalen
NRC	Nuclear Regulatory Commission, USA's reaktorsikkerhedsmyndighed
NSG	Nuclear Suppliers Group, international gruppe, der kontrollerer eksport af komponenter til nukleare anlæg
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OECE	Organisation for European Economic Co-operation
OKG	Svensk elselskab under E.ON Sverige, operatør af Oskarshamn kernekraftværk
OPG	Ontario Power Generation, canadisk elselskab
OPR-1000	Sydkoreansk Optimized Power Reactor (PWR) på 1000 MWe
PBMR	Pepple Bed Modular Reactor, højtemperatur reaktor med kugleformede brændselelementer
PFEP	Pilot Fuel Enrichment Plant, iransk berigningsanlæg
PHWR	Pressurized Heavy Water Reactor, tungtvands-modereret trykvandsreaktor
PRIS	Power Reactor Information System, IAEA's database for kraftreaktorer
PWR	Pressurized Water Reactor, trykvandsreaktor

RBMK	Reaktor-stor-effekt-kanaltype, russisk reaktor med grafit moderator og kogendevandskøling (Tjernobyl-typen)
RWE	Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk, tysk el-selskab
SCWR	SuperCritical Water cooled Reactor, superkritisk vandkølet reaktor
SFR	Sodium cooled Fast Reactor, natriumkølet hurtigreaktor
SIS	Statens Institut for Strålehygiejne
SNI	Sviluppo Nucleare Italia, italiensk-fransk elselskab
SSM	Strålsäkerhetsmyndigheten (Sverige)
STUK	Den finske myndighed for nuklear- og strålingssikkerhed
SVBR	Svintsovo-Vismutovyi Bystryi Reaktor, russisk bly-bismuth-kølet reaktor
SWR-1000	Fransk-tysk udviklet kogendevandsreaktor
TEPCO	Tokyo Electric Power Company, japansk elselskab, operatør af Fukushima-værket
TVA	Tennessee Valley Authority, amerikansk elektricitetsselskab
TVO	Teollisuuden Voima Oy, finsk el-selskab
TWh	Terawatt-time, 1 TWh = 1 milliard kWh
UF <sub>4</sub>	Urantetrafluorid
UF <sub>6</sub>	Uranhexafluorid
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, videnskabelig komité under FN om virkninger af stråling
USAPWR	Mitsubishi's Advanced Pressurized Water Reactor for det amerikanske marked
USD	Amerikanske dollar
USEPR	Amerikansk udgave af den franske EPR
VHTR	Very High Temperature Reactor, meget høj temperatur reaktor
VVER	Vand vand energi reaktor, russisk udgave af trykvandsreaktoren
VVM	Vurdering af Virkninger på Miljøet
WANO	World Association of Nuclear Operators, global organisation for elselskaber med kernekraftværker
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association, organ for europæiske reaktorsikkerhedsmyndigheder
WNA	The World Nuclear Association, global sammenslutning af virksomheder inden for den nukleare industri

Risø DTU er Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi. Forskningen er rettet mod udviklingen af klimavenlige energiteknologier og energisystemer, og bidrager til innovation, uddannelse og rådgivning. Risø har store forsøgsfaciliteter og tværfaglige forskningsmiljøer og inkluderer kompetencecenteret for nukleare teknologier.

---

**Risø DTU**  
**Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi**  
**Danmarks Tekniske Universitet**

Frederiksborgvej 399  
Postboks 49  
4000 Roskilde  
Telefon 4677 4677  
Fax 4677 5688

[www.risoe.dtu.dk](http://www.risoe.dtu.dk)

